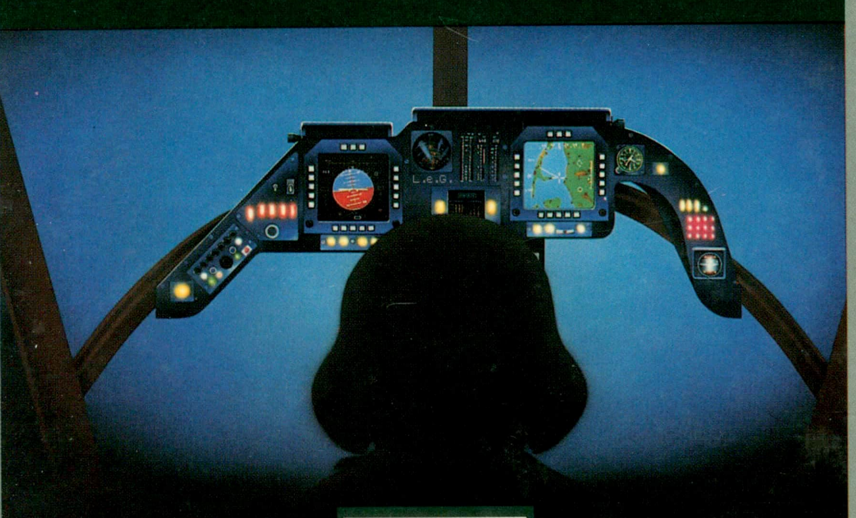
TRANSDUCTORES ELECTRONICOS



NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA




NUEVAS
TECNOLOGIAS
BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

TRANSDUCTORES ELECTRONICOS



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-641-7 (Vol. 24)
D.L.: B. 19.989-1986

Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa Provenza, 388 08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts 1986

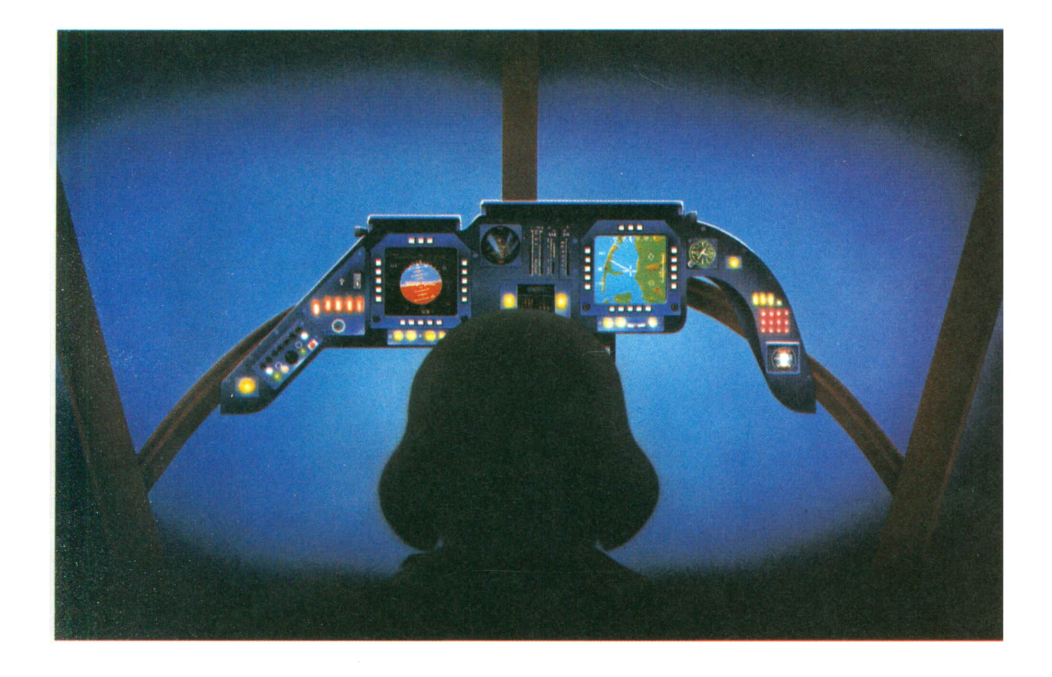
Printed in Spain

Transductores electrónicos

La cabina de un avión o helicóptero alberga gran número de transductores, ya que los instrumentos indicadores reflejan las condiciones del ambiente exterior y el funcionamiento de los diferentes sistemas; (Cortesía: AEG).

INTRODUCCION

Se denomina *transductor* al dispositivo que transforma cualquier parámetro físico químico o biológico en una magnitud eléctrica.



La necesidad de controlar procesos industriales químicos o biológicos con tasas de error bajas, ha hecho necesario el desarrollo de dispositivos capaces de *traducir* parámetros físicos en parámetros eléctricos que pueden ser procesados mediante la electrónica.

Los grandes avances en la tecnología integrada VLSI (circuitos de muy alta escala de integración) que permiten manipulación de datos a alta velocidad así como de alta complejidad, ha hecho necesario el desarrollo de complejos sistemas y transductores.

Los transductores pueden dividirse en tres grandes grupos: para *parámetros físicos*, para *parámetros químicos* y para *parámetros biológicos*.

TRANSDUCTORES PARA PARAMETROS FISICOS

TRANSDUCTORES DE FUERZA

En 1678, Robert Hooke estableció que la relación existente entre tensiones y deformaciones en los cuerpos sometidos a esfuerzos mecánicos es lineal, siempre y cuando el material sea isótropo y homogéneo, y no sobrepase su límite elástico.

Pero no sólo se produce una deformación en el sentido de la fuerza, sino que el aumento de longitud va acompañado de una disminución de la sección (*efecto Poisson*).

Las galgas extensométricas

Entre los diferentes procedimientos que existen para convertir las deformaciones en señales eléctricas proporcionales, el más extendido es el que utiliza elementos cuya resistencia eléctrica varía en función de pequeños cambios de longitud.

Estos elementos se colocan adheridos al material que se desea controlar, de manera que formen un conjunto homogéneo y solidario para que las deformaciones que se produzcan en el material a prueba se reflejen en la galga.

Las galgas extensométricas más usadas son las galgas metálicas y las de semiconductor.

El principio de la medida de las galgas extensométricas metálicas se basa en las siguientes premisas:

1) La resistencia de un material depende de su forma geométrica.

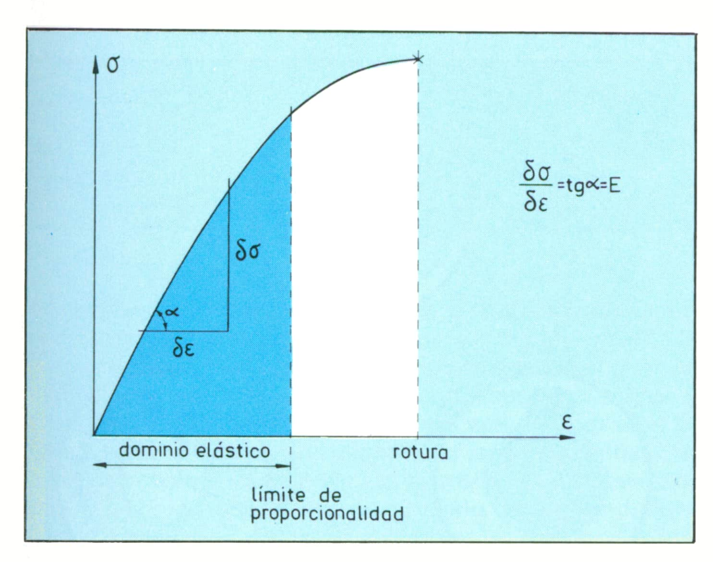
2) Todo aumento de longitud viene seguido de la disminución de la sección (efecto Poisson).

3) El *efecto Bridgman* que dice: la variación de la resistividad es proporcional a la variación relativa de volumen.

De todo lo anterior resulta la ecuación:

$$\frac{\delta R}{R} = k \frac{\delta L}{L} \qquad (1)$$

donde *K* es el factor de la galga cuyo cálculo corresponde al fabricante.



Curva tensión-alargamiento para un metal típico. Se pueden apreciar la zona elástica y el punto de rotura.

Las galgas de semiconductor están formadas normalmente en un cristal semiconductor ligeramente dopado. En dicho cristal la resistividad depende del grado de dopado y de la dirección del esfuerzo mecánico en relación a la orientación cristalográfica (*efecto piezorresistivo*).

Aunque estas últimas galgas tienen una sensibilidad entre 50 y 60 veces mayor que las metálicas, su dependencia de la temperatura es muchísimo mayor.

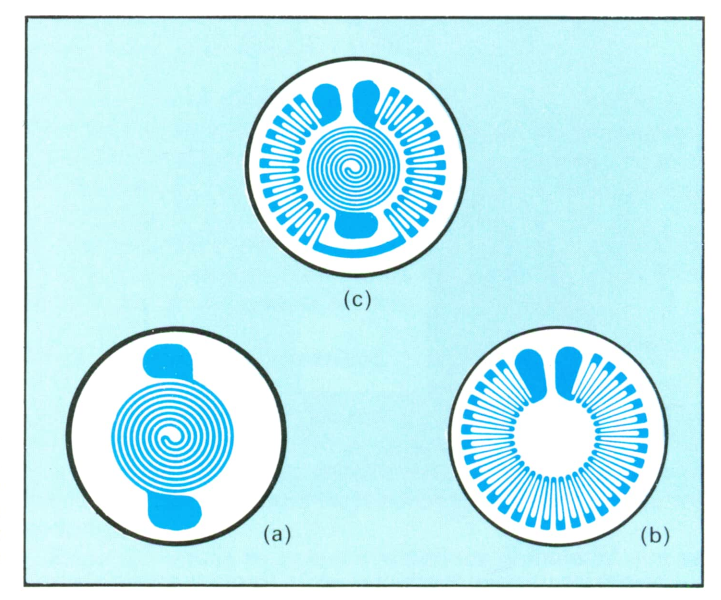
Para medir la variación de la resistenca que sufre la galga debido al esfuerzo mecánico, se utiliza el puente de Wheastone, que consiste en cuatro impedancias montadas

dos a dos en serie, en dos vértices extremos se aplica una tensión E que es recogida en los otros dos extremos como V.

El puente está equilibrado cuando:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \tag{2}$$

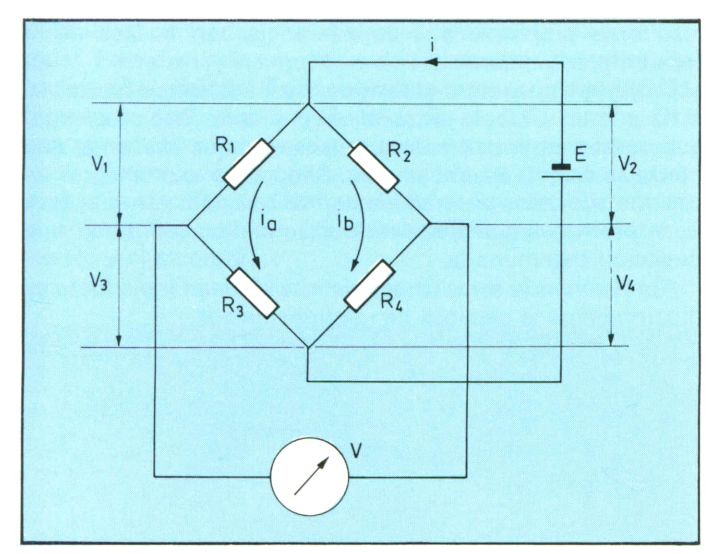
Cualquier cambio en la relación R_1/R_3 puede ser equilibrado mediante el ajuste de la relación R_2/R_4, o sea, actuando sobre la resistencia del lado opuesto.



Diferentes tipos de galgas: a) Medidas de esfuerzo tangencial; b) medidas de esfuerzo radial; c) para ambos tipos de esfuerzo.

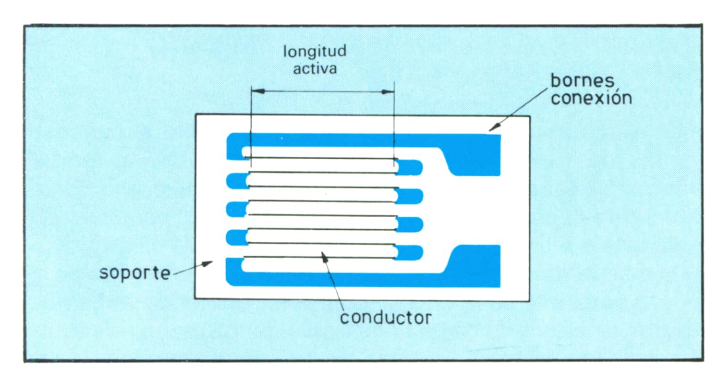
Una vez equilibrado el puente en uno de cuyos lados se encuentra la galga, cualquier variación del valor resistivo de la misma se traducirá en un cambio en la tensión en los extremos de salida, y por tanto habremos medido el esfuerzo de tensión que soporta la galga.

Existe otro transductor ampliamente utilizado para medir la fuerza, es el llamado LVDT (*linear variable differencial transformer*). El LVDT está formado por un transformador



Esquema de un puente de Wheastone para la medida de una resistencia desconocida, que se coloca en una de las ramas. La medida se efectúa con precisión.

diferencial lineal que consta de dos secundarios idénticos, conectados en serie/oposición, y de un núcleo móvil. Un desplazamiento de este núcleo supone una variación de inductancia mutua de cada secundario respecto al primario. Como sea que las tensiones inducidas van en oposición de fase, cuando el núcleo está centrado la tensión resultante es nula, y en cualquier otra posición se producirá un desequilibrio a favor de uno u otro secundario, apareciendo una

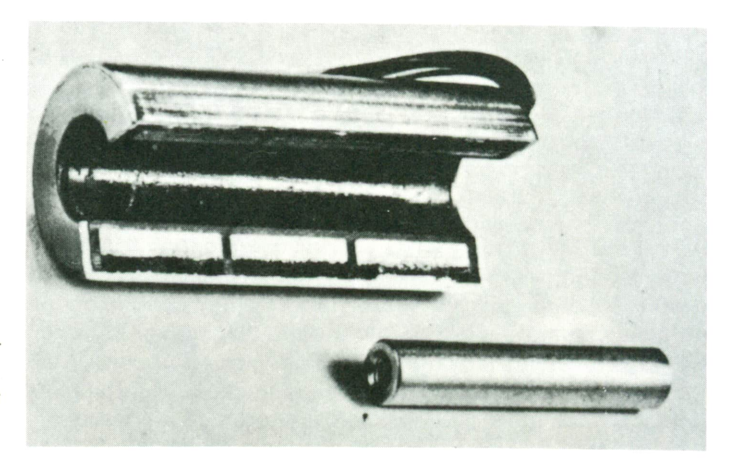


Galga extensiométrica de trama pelicular. El conductor queda depositado sobre una superficie aislante.

resultante proporcional a la diferencia con la fase de la tensión predominante.

El último transductor utilizado en la medición de fuerzas es el basado en el *efecto piezoeléctrico directo.* Esta propiedad, que poseen algunos cristales, consiste en que aplicando una fuerza se cargan eléctricamente. Según el plano de corte, se obtienen de estos cristales elementos que sólo son sensibles a las presiones o bien a las fuerzas de cizalladura en una dirección determinada.

Aprovechando estas características se crean transductores dinamométricos capaces de medir esfuerzos.



Fotografía de una LVDT cortada en sección para mostrar el ánima y los devanados. (Cortesía: Schalevitz).

TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO LINEALES Y ANGULARES

La electrónica ha contribuido enormemente a concebir formas de medir distancias. La velocidad de las ondas electromagnéticas en el aire puede considerarse una constante, que depende de la frecuencia, por tanto, para calcular la distancia a un objeto bastará emitir una onda electromagnética en la dirección en la que se halla el objeto y recibir el reflejo de la misma al chocar contra él. Midiendo el tiempo desde que se emitió hasta la recogida del eco se puede saber con gran precisión la distancia. Este sistema permite calcular

distancias de hasta cien metros, utilizándose para ello el radar. Para distancias menores de cien metros se utilizan las ondas ultrasónicas. Este sistema permite mediciones de distancias, espesores o profundidades de 0,01 metros. Otra ventaja adicional al uso del radar y a los ultrasonidos para medir distancias es la utilización del *efecto Doppler*, que no es más que la variación de frecuencia en la onda reflejada por el objeto, dependiendo de la velocidad relativa entre el emisor y el receptor.

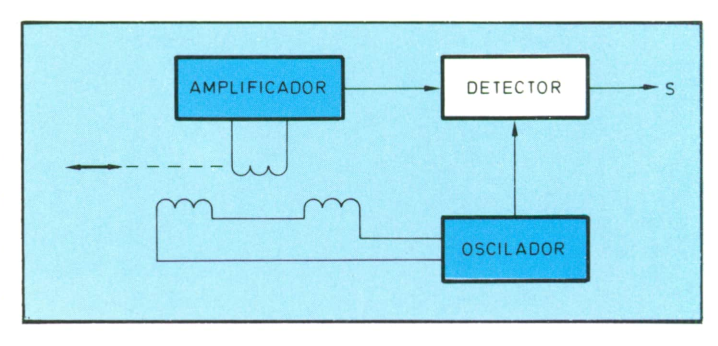


Grupo de dispositivos semiconductores fotosensibles, para transferencia de carga. Estos elementos convierten variaciones luminosas en variaciones de corriente. Su aplicación es útil, por ejemplo, como transductores en robótica, ya que se comportan como una retina electrónica. (Cortesía: Thomson-CSF).

Transductores para la medición de distancias cortas

Cuando las distancias a medir son de unos pocos metros se suele utilizar como transductor el potenciómetro.

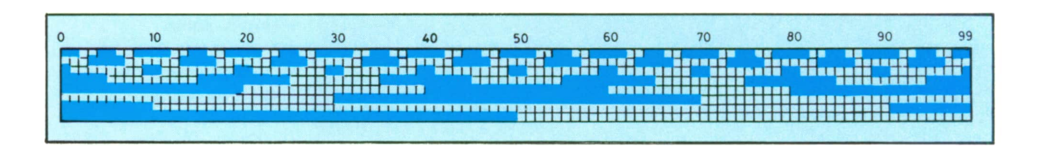
Normalmente el potenciómetro se adapta sobre un eje roscado, cuyo movimiento de rotación hace girar el cursor variando su resistencia. Midiendo el valor de la tensión de salida se puede establecer la distancia. El inconveniente más importante para su utilización es que el contacto móvil acaba por desgastar la pista de carbón por la que se desliza. Los límites en la precisión de la medida vienen determinados por las corrientes de fugas del potenciómetro y por su falta de linealidad. Aun así se pueden conseguir precisiones del 0,1 %.



Principio de funcionamiento del transformador diferencial como sensor de posición. La variación de flujo, se transforma en una variación de corriente que puede amplificarse.

Las reglas graduadas de lectura óptica son otro tipo de transductor utilizado para medir distancias cortas. Están formadas por unas bandas codificadas transparentes y opacas que pueden ser leídas por una serie de fotodiodos, los cuales se mueven solidarios al cabezal que se desea posicionar. Esencialmente son de dos tipos: las de *codificación absoluta* y las *reglas incrementales.*

Regla codificada para medida de distancias en código absoluto. Utiliza un código lineal en lenguaje binario.



Las primeras permiten leer la posición absoluta con sólo leer la posición en la que se halla el cabezal. Las segundas por su parte dan la posición en función de la anterior.

El código utilizado en las *reglas de posicionado absoluto* no es el binario natural, ya que mediante el sistema de lectura utilizado, fotodiodos o células fotoeléctricas, no es posible conseguir una alineación tan perfecta de los captadores como para que se produzca el cambio simultáneamente en todos ellos, produciéndose indeterminaciones en las zonas de cambio.

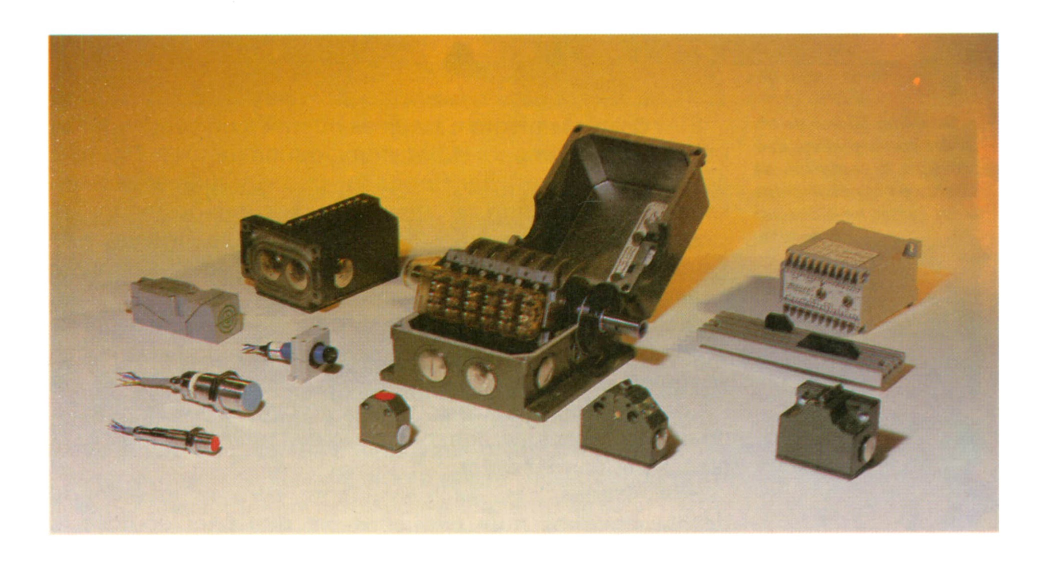
Una forma de evitar la indeterminación en los momentos de cambio consiste en utilizar cabezales de lectura dobles. Otra solución consiste en la utilización de códigos continuos.

Transductores para pequeños desplazamientos

Las bandas extensométricas pueden también ser utilizadas para medir los desplazamientos muy pequeños, conectándolas a un puente de medida.

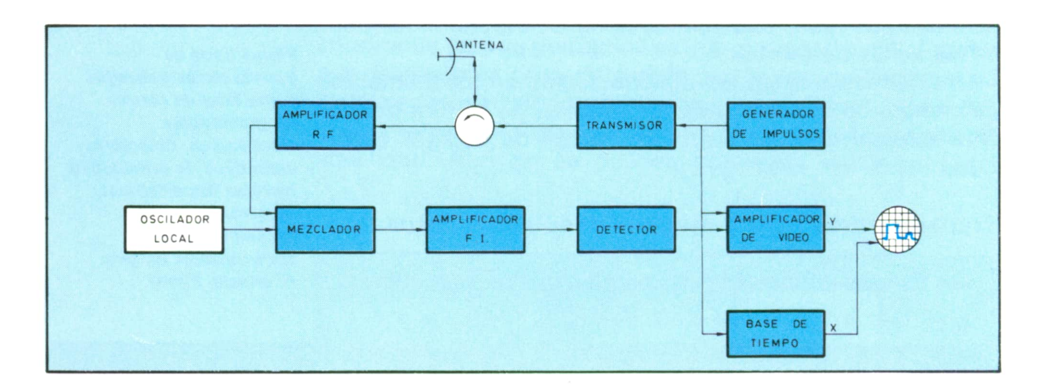
Los transductores inductivos aprovechan el fenómeno de inducción mutua entre dos devanados para traducir a un

Varios tipos de transductores utilizados como final de carrera, programadores electrónicos, detectores inductivos de proximidad, barreras fotoeléctricas, detectores optoelectrónicos y controladores de giro. (Cortesía: Elion).



parámetro eléctrico la distancia que un cabezal ha recorrido.

Para distancias pequeñas de hasta un centímetro se utilizan dos devanados planos de forma que uno cubre todo el desplazamiento posible y el otro, más pequeño, se desplaza con el cabezal sobre aquél. Este movimiento provoca una señal en el secundario, cuya amplitud depende de la fase en que se encuentren los devanados.



Esquema básico de un radar convencional, que aprovecha la captación de rebotes en los obstáculos de las ondas emitidas por la antena.

Si el desplazamiento a medir es inferior a un centímetro se utiliza frecuentemente el transformador diferencial. Este está constituido por un transformador con dos primarios y un secundario. Cuando el devanado secundario ocupa la posición central, los flujos de los primarios son iguales y de signos opuestos, haciendo que el flujo total sea nulo; cuando el secundario se desvía de esta posición el flujo inducido aumenta linealmente, produciéndose una señal de salida creciente cuyo signo dependerá del lado hacia el que se mueva dicho secundario.

Los transductores capacitativos aprovechan el fenómeno de que la capacidad depende de la distancia que separa las placas del condensador.

Son usados casi exclusivamente para la medida de desplazamientos muy pequeños, ya que para grandes la precisión que se obtiene es muy pequeña.

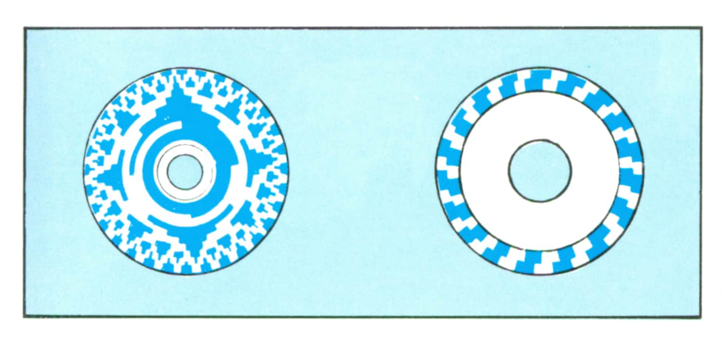
La fórmula que da la capacidad entre dos placas paralelas es:

$$C = \varepsilon \frac{S}{4\pi d} \qquad (3)$$

donde *S* es la superficie, *d* la distancia entre placas y ε es la constante dieléctrica del medio que hay entre las placas. Variando *d* se varía *C*.

Transductores para medidas de ángulos

También aquí se utilizan los clásicos principios: variación de resistencia, variación de inductancia (resolver y sincro) y de capacidad, pero además existen los de discos codificados.



Para las medidas de desplazamientos angulares, se utilizan discos codificados.

Los dos sistemas más extendidos son los resolver y los sincro, que se basan en el mismo principio.

El sincro, parecido a un pequeño alternador, tiene un devanado único en su rotor y el estator es trifásico con los tres devanados desplazados 120°.

Cuando se alimenta el rotor con una tensión alterna, en cada secundario queda reflejada como una función del ángulo del desplazamiento del rotor respecto de uno de los secundarios. Para medir este ángulo se recurre normalmente a otro sincro que efectúa la operación inversa: a partir de las tres tensiones recibidas del sincro emisor posiciona el rotor del sincro receptor, que actúa como elemento de salida. Con este sistema se consiguen precisiones del orden de un 0,1 %.

También se hallan muy generalizados los sistemas de lectura, ya sean por medios ópticos o magnéticos, utilizándose sistemas de posicionamiento absolutos o incrementales.

TRANSDUCTORES DE PROXIMIDAD

El nombre de *detector de proximidad* se aplica de un modo general a cualquier dispositivo eléctrico, electromecánico o electrónico, capaz de reaccionar de forma conocida y aprovechable ante un objeto situado en un entorno definido



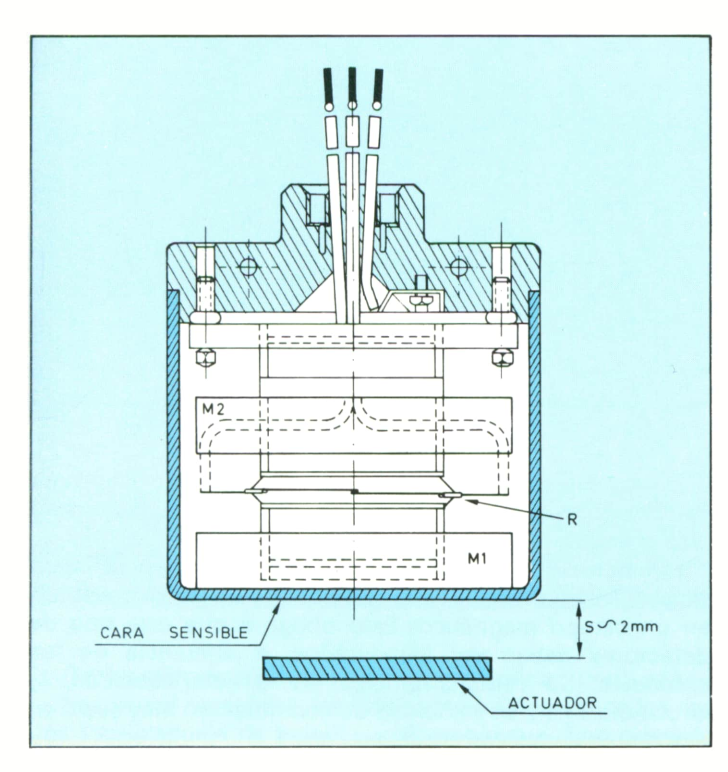
Los transductores son necesarios, para establecer una relación real entre los controles y el mundo sobre el que actúa el control. En la foto, un brazo robotizado para recoger materiales diversos.

del mismo. El entorno de reacción define el campo de sensibilidad. Se supone siempre que para que la reacción se produzca sólo se precisa la proximidad física entre objeto y detector, sin necesidad de contacto físico entre ambos.

El campo de sensibilidad está formado por una zona del espacio en el que ocurre un determinado fenómeno producido o aprovechado, con la suficiente definición en intensidad, por el dispositivo de detector, que da lugar a reacciones físicas sobre los materiales objeto de la sensibilidad del detector.

Detectores de proximidad inductivos

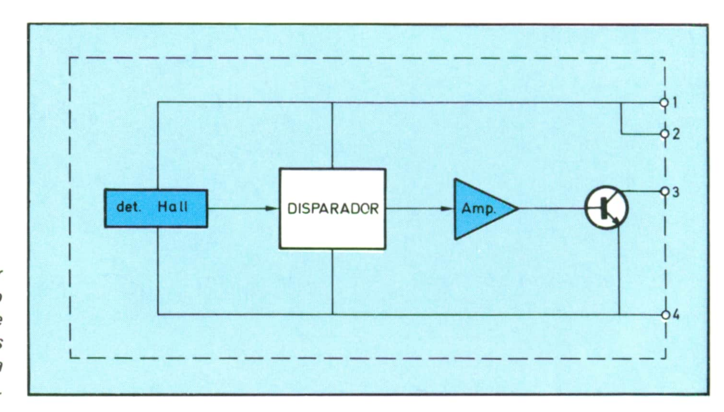
Se denominan detectores de proximidad inductivos aquellos dispositivos que aprovechan un campo magnético (estacionario o variable) como fenómeno físico aprovechable para reaccionar frente al objeto a detectar.
Estos detectores se pueden agrupar en tres grandes grupos:
Los sensibles a materiales ferromagnéticos, a materiales metálicos y los de aplicaciones especiales.



Detector de proximidad laminar en corte, en el que se aprecia el relé laminar. La distancia entre el objeto y el detector ha de ser muy pequeña.

Los primeros reaccionan sólo ante la presencia de materiales ferromagnéticos, haciéndose uso de un campo magnético estático que se modifica ante la presencia del objeto a detectar.

El modelo más sencillo de este tipo de detectores es el formado por dos imanes permanentes y un relé laminar hermético, el cual se mantiene normalmente abierto debido a que el campo magnético sobre el eje de la ampolla es nulo en situación de equilibrio. Cuando un objeto ferromagnético se introduce en el espacio de campo de uno de los imanes, concentra hacia sí las líneas de fuerza de este imán desequilibrando el campo, con lo que el procedente del otro imán cierra el contacto laminar. Una variación del sistema anterior utiliza una bobina en vez del contacto laminar, donde se induce, por el procedimiento anteriormente descrito, un impulso de tensión.

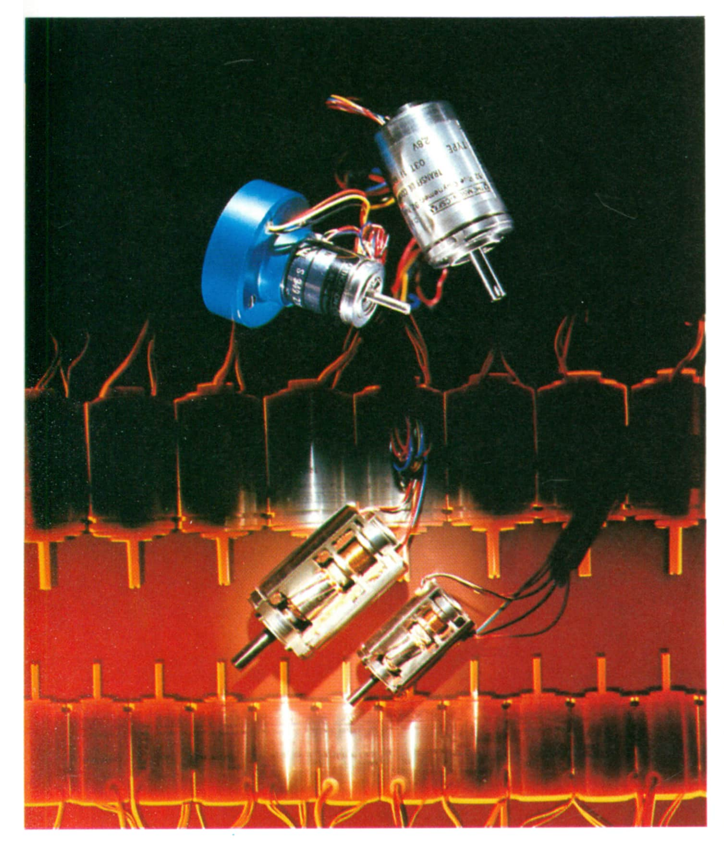


Esquema de un detector de efecto Hall. Como trabaja con niveles de señal muy bajos, es preciso aplicarlo a una etapa amplificadora.

Existen otros modelos que utilizan el *efecto Hall* para detectar la presencia de un objeto ferromagnético en sus proximidades.

El efecto Hall es la producción de un campo eléctrico transversal en un conductor portador de corriente colocado en un campo magnético. Esto obliga a que este tipo de detectores deban ser alimentados, a diferencia de los anteriores. Su ventaja principal es la compatibilidad, la circuitería TTL y su velocidad de conmutación muy superior a la de los anteriores modelos.

Los detectores inductivos sensibles a materiales metálicos aprovechan el *efecto Foucault*. Todos los modelos comerciales hacen uso de un campo magnético variable (generado por el propio detector) cuya dispersión en el espacio define el campo de sensibilidad del dispositivo. Cualquier material capaz de absorber energía del campo provocará un cambio en los parámetros eléctricos del detector. Todos los modelos del mercado precisan una alimentación externa.



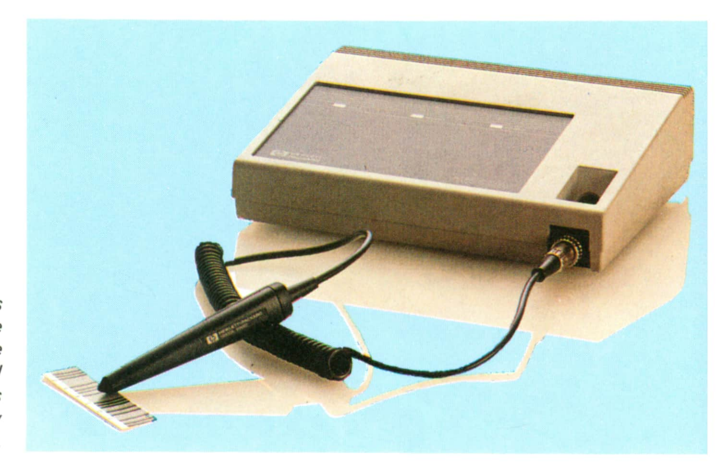
Captadores miniatura, para la medición de los ángulos de rotación de sistemas de automatización. Las salidas eléctricas han sido reemplazadas por transformadores rotativos sin contactos por rozamiento. (Cortesía: Thomson-CSF).

De los detectores inductivos de proximidad dedicados a aplicaciones especiales, los más comúnmente utilizados son los localizadores de metales y de vehículos. Los primeros

basan su efecto en la modificación del campo variable generado por una bobina ante la presencia de un objeto metálico que, como consecuencia, modifica la frecuencia de un oscilador. Un comparador de frecuencias produce una salida proporcional a la desviación de frecuencia.

Los detectores de vehículos trabajan por variación del valor de la bobina y por medida de fase. En este segundo caso se aplica la propiedad de que un circuito resonante, a una frecuencia dada, cambia muy rápidamente su fase alrededor del punto de resonancia.

Cuando un vehículo se sitúa sobre la bobina que está en el pavimento, modifica el valor de la inductancia, modificando como consecuencia la frecuencia de resonancia. Al estar este circuito sincronizado mediante otro oscilador patrón, produce un fuerte desfase para la corriente a la frecuencia de resonancia.



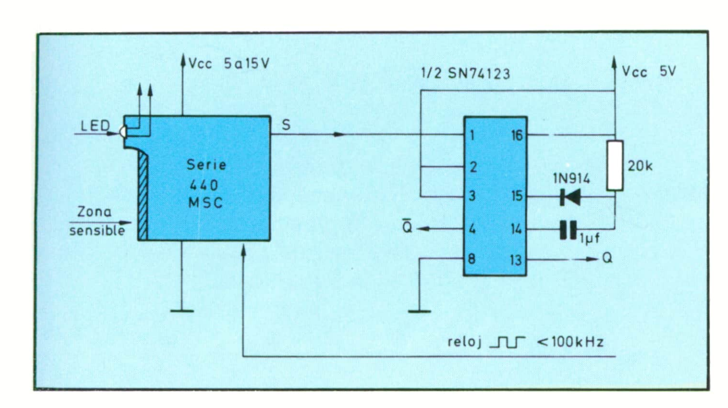
Entrada de datos al computador, mediante un lector de código de barras, que traduce al código binario los diferentes grosores y separación de las barras.

Detectores de proximidad capacitivos

Entendemos por detectores de proximidad capacitivos todos los dispositivos de proximidad que utilicen un campo eléctrico (generalmente variable) como fenómeno físico aprovechable para reaccionar frente al objeto a detectar. Este tipo de detector de proximidad presenta una diferencia fundamental frente a los tipos anteriormente descritos. En

efecto, por el objeto detectado circula una cierta corriente necesaria para poder bascular el disparador anterior. Normalmente es de muy baja intensidad, por lo que no representa ningún problema fisiológico para el hombre, lo cual hace que estos detectores puedan ser manipulados sin riesgo.

La aplicación más difundida y de mayor importancia técnica es el denominado *touch-control*.



Aplicación «touch control». Basta aproximar el dedo con un ligero toque, para activar el interruptor de entrada, y con ello el circuito integrado SN 74123.

Detectores de proximidad por radiación

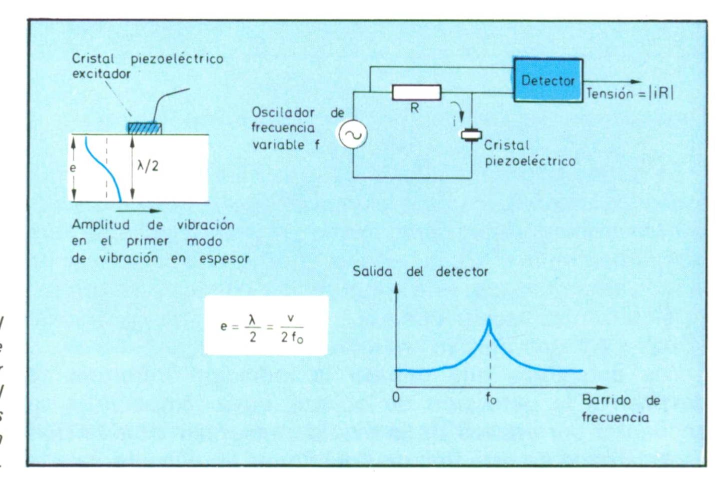
Se entiende por detectores de proximidad por radiación todos los dispositivos de proximidad que utilicen radiaciones electromagnéticas como medio físico aprovechable para reaccionar frente al objeto a detectar. Según la naturaleza de la radiación utilizada, este subgrupo se puede dividir en los que utilizan radiación *infrarroja*, los que utilizan radiación *visible* y los que utilizan *microondas*.

Los detectores que utilizan la radiación infrarroja se destinan a la detección de objetos cuya temperatura se encuentra por encima de la media ambiental. Una versión especializada de este tipo de detector es el utilizado para la localización de puntos calientes. Generalmente utilizan como foco emisivo el propio objeto a detectar, lo cual limita su campo de aplicación especialmente a los sistemas de seguridad. Los detectores que utilizan la radiación visible en general utilizan el sistema de retrorreflexión, esto es, emiten luz visible (o infrarroja) y reciben el reflejo del objeto.

Por último, los detectores de proximidad que utilizan las microondas se están poniendo cada día más de actualidad gracias a la resolución tecnológica de los problemas inherentes a la producción de microondas. Su principal punto de aplicación pueden ser barreras electrónicas que alcanzan fácilmente varias decenas de metros con potencias de milivatios, en general suelen tener el emisor y receptor en el mismo equipo y aprovechan la reflexión de las microondas para detectarlo.

TRANSDUCTORES DE MEDIDA DE ESPESORES

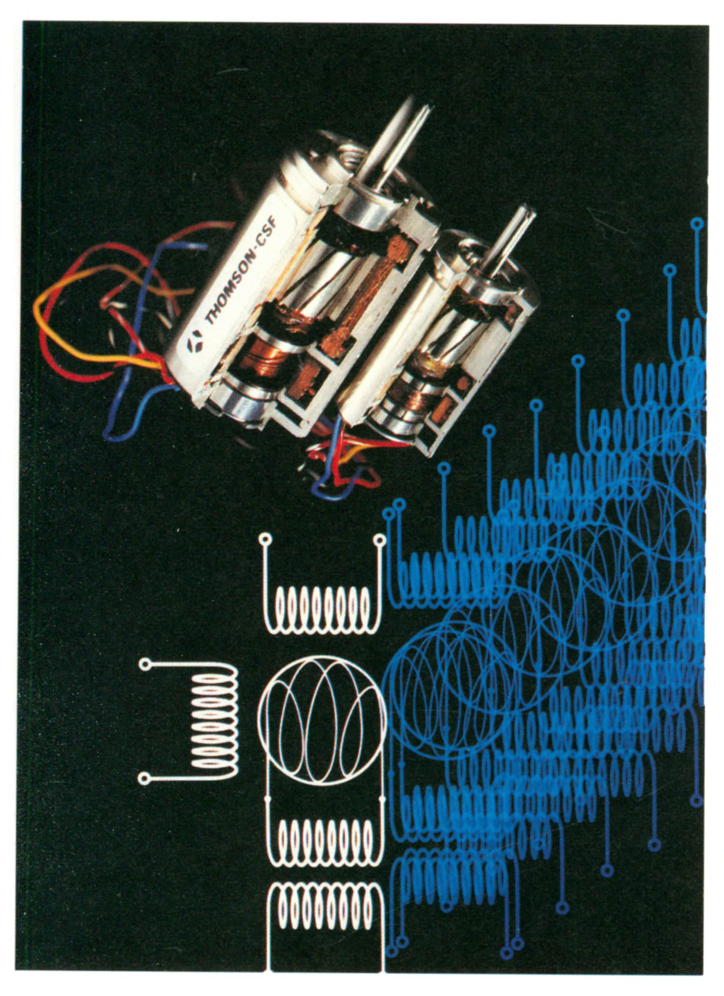
En los últimos tiempos ha adquirido gran preponderancia el control de calidad de tipo mecánico sobre el producto acabado. Algunos de estos controles pueden llevarse a cabo mediante la medida de espesores de piezas o mediante el estudio de la rugosidad de una superficie.



Funcionamiento del transductor de ultrasonidos por oscilación, sobre el espesor de la pieza cuyas dimensiones se desean medir.

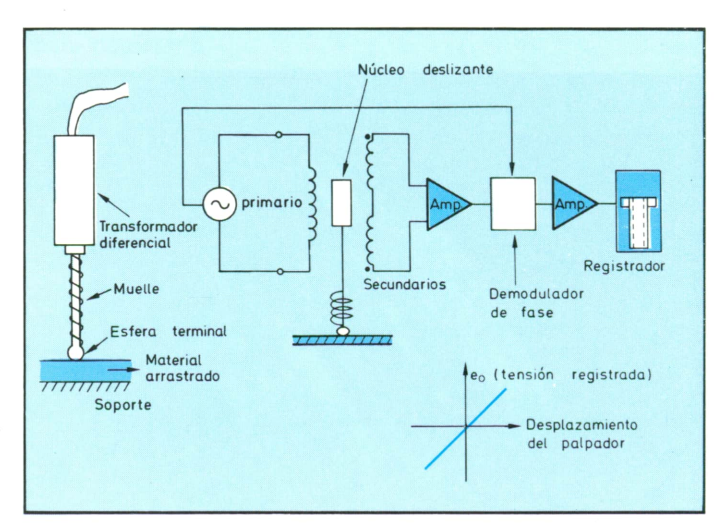
Un caso típico de la necesidad de un control de espesores de materia, es el de un proceso de fabricación continuo de un material que se lamine o se produzca en bandas. En estos casos interesa controlar el espesor del material acabado, de

forma que si se produce algún fallo en la cadena de producción se pueda parar esta automáticamente a fin de evitar la pérdida inútil de material, o bien se pueda realizar una regulación continua de procesos tales como tensión de la banda, separación entre rodillos, etc., cuyos efectos se puedan medir en función del material resultante.



Potenciómetros inductivos lineales miniatura sin contacto, que permiten sustituir a los potenciómetros clásicos con cursor que se desliza sobre una pista. (Cortesía: Thomson-CSF).

Otra aplicación de gran interés es el control de espesor de pintura depositada en una superficie metálica, tal como la carrocería de un coche. En este caso, a diferencia del anterior donde se precisaba una medida de espesor diferencial dinámica, interesará realizar medidas absolutas de una sola cara y además de forma prácticamente estática.



Palpador y transformador diferencial utilizado como transductor de espesor. La variación de flujo, es amplificada por el amplificador diferencial, que posteriormente activa el registrador.

Por último, un campo de medida de espesores que ha crecido enormemente en los últimos años de forma paralela al desarrollo de la industria de fabricación de semiconductores, ha sido el de la medida de las capas depositadas de diversos tipos de materiales, tanto metálicos como dieléctricos, dentro de una campana de vacío, sobre obleas semiconductoras.

Medidas de espesores de piezas o bandas continuas

Normalmente se suelen subdividir los transductores que miden laminados dieléctricos o metálicos en dos grupos: los que están en contacto con la sustancia a medir y los que no lo están.

De entre los transductores de contacto se puede citar en

primer lugar al *palpador* combinado con algún tipo de transductor de desplazamiento.

La forma normal consiste en un vástago con una esfera en el extremo la cual se pone en contacto con el material a medir, y que se encuentra cargado con un resorte, generalmente de forma helicoidal, que mantiene en una determinada posición de equilibrio. Se hace que una de las caras del material que se desea medir roce sobre una superficie lo más plana posible. Las irregularidades de la cara superior del material hacen subir y bajar el vástago en posición de

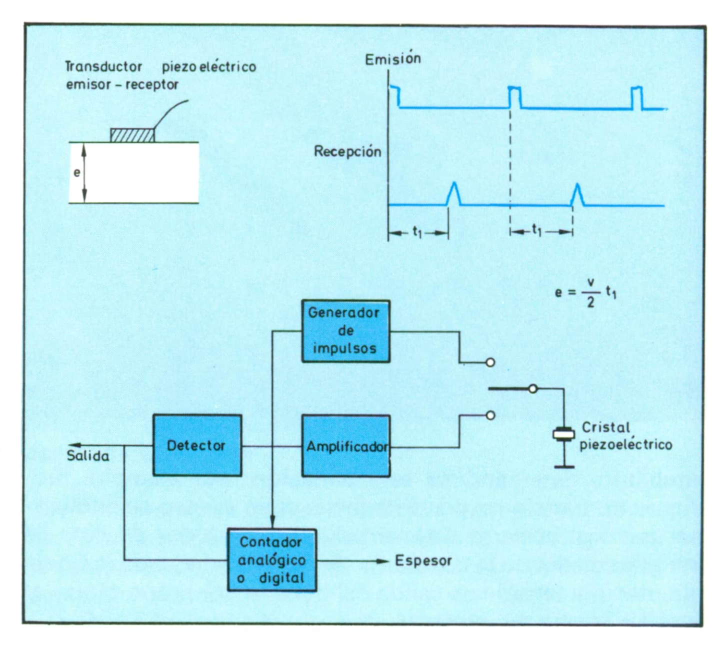


En el extremo de estos detectores de proximidad inductivos, se encuentra el integrado OM 286 que consta de un oscilador, etapa rectificadora y salida para excitar una bobina o un relé. Entre los diferentes circuitos, puede variar el valor de la bobina osciladora y una resistencia externa, cuyo valor dependerá de la distancia de trabajo. (Cortesía: Miniwatt).

equilibrio, detectándose esta variación, por ejemplo, mediante un transformador diferencial cuyo núcleo se encuentra unido al vástago. Las variaciones alrededor de cero se integran mediante la constante de tiempo adecuada, a fin de obtener una tensión de salida del transductor proporcional al espesor medio del material.

En el caso de medir espesores de una banda de papel o de cualquier otro material no magnético se puede utilizar un transductór denominado magnético, montándolo sobre la zona en que la banda pasa sobre uno de los rodillos metálicos del sistema de arrastre. El transductor consiste en una bobina, alimentada con corriente alterna, que crea corriente de Foucault sobre la superficie del rodillo, variando su inductancia y las pérdidas en función de la distancia que separa el transductor del rodillo, que no es más que la del material cuyo espesor se pretende medir.

Existen dos procedimientos de medida de espesores mediante ultrasonidos. El primero de ellos es el denominado de resonancia, para que actúe se acopla acústicamente un cristal de cuarzo que es excitado exteriormente desde un oscilador. La frecuencia se aumenta a partir de un mínimo hasta que se detecta un punto en el que por primera vez se absorba un máximo de energía por parte de la estructura. Si está correctamente diseñado el sistema, esta frecuencia corresponderá a una longitud de onda de propagación de sonidos dentro del material tal que la vibración en espesor de

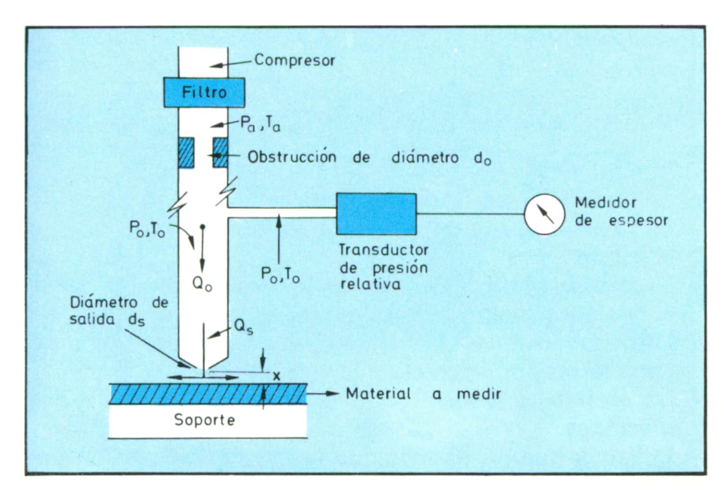


Esquema de funcionamiento del transductor de espesores por detección de eco. La tensión en bornes del cristal piezoeléctrico, aprovecha las variaciones en la vibración debidas al espesor a medir.

la estructura provocada estará en resonancia, es decir, se formará una onda estacionaria con una semilongitud de onda igual a la del espesor del material.

El segundo método ultrasónico para medir espesores es el que se desprende de generar un estrecho impulso ultrasónico, mediante un cristal piezoeléctrico acoplado acústicamente a la pieza a medir, y detectar mediante el mismo cristal el tiempo que tarda en regresar el eco producido por la discontinuidad en el otro extremo de la pieza.

Los principios de transducción utilizados en los dispositivos que miden espesor sin entrar en contacto con el material son básicamente cuatro: dispositivos *neumáticos*, transductores de *corrientes de Foucault diferenciales, transductores capacitivos* para materiales dieléctricos y sistemas basados en la *absorción de radiaciones nucleares*. Todos ellos, encuentran un gran número de aplicaciones industriales.



Transductor neumático de espesor de una banda de material. Aquí, se aprovechan las variaciones en la presión, en función del espesor.

El transductor neumático más utilizado se basa en el principio de la válvula y la lengüeta. Se envía aire a una cierta presión sobre una válvula situada en la superficie cuyo espesor se pretende medir. El paso de la banda no uniforme hace que salga más o menos aire por ella, por lo que midiendo la presión relativa del aire se puede obtener una buena medida del espesor.

Los transductores de corrientes de Foucault diferenciales son análogos a los ya descritos, pero con la salvedad de que en este caso tienen acceso a las dos caras de la banda metálica.

Los medidores capacitivos se utilizan para medir el espesor de bandas de material no conductor, colocando entre ambas caras paralelas del condensador el material a medir. El principal inconveniente que tiene este dispositivo es que el material a medir ha de estar muy seco, debido a la alta constante dieléctrica relativa del agua. Bastará medir la variación de capacidad para tener una idea muy clara de la variación de espesor.

Los medidores de espesor por absorción de radiación se basan en utilizar una fuente de radiación, altamente penetrante, que se hace incidir sobre una de las caras del objeto a medir y se recoge en el otro lado la cantidad de ella que ha pasado. Su principal inconveniente es que es muy sensible a las variaciones en la composición química del material que se está midiendo.

TRANSDUCTORES DE PRESION

Comúnmente, en la industria los instrumentos pueden medir las siguientes clases de presión:

— La *presión absoluta*, que se mide con relación al cero absoluto.
— La *presión atmosférica*, que es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro.
— La *presión relativa*, que es la que se obtiene por diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica.
— La *presión diferencial*, que es la diferencia entre dos presiones.
— El *vacío*, que no es más que la medida de presión por debajo de la atmosférica.

Los instrumentos medidores de presión se clasifican en tres grupos: mecánicos, electromecánicos y electrónicos.

Elementos mecánicos

El tubo de Bourdon

Es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Cuando aumenta la

presión interna del tubo, éste tiende a enderezarse. Este movimiento es transmitido a una aguja indicadora.

Normalmente este tubo está realizado con acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales como *hastelloy* y *monel.*

El diafragma

Consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí mediante soldadura, de forma que al aplicar presión cada cápsula se deforma. El conjunto de pequeños desplazamientos es amplificado por un juego de palancas y de ahí se envía a un sistema de representación visual.



La automatización que supone los robots, exige cuidar la captación de sensaciones externas a la máquina: imagen, sonido, presión, proximidad, etc. Los robots industriales, incorporan una gran cantidad y diversidad de sensores electrónicos.

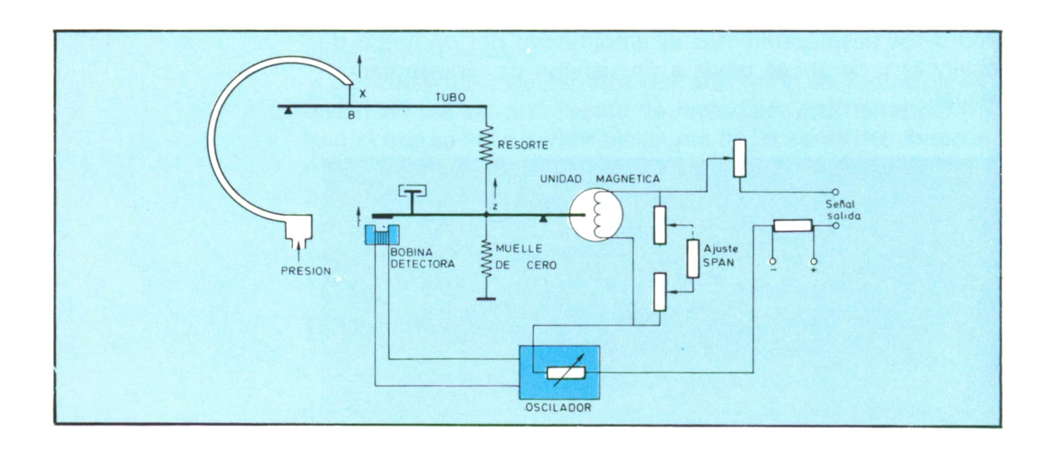
El fuelle

Es parecido al diafragma, pero formado por una sola pieza axial flexible que puede dilatarse de forma considerable.

Los medidores de presión absoluta consisten en conjunto de fuelle y muelle opuesto a un fuelle sellado al vacío. El movimiento resultante de la unión de los dos fuelles equivale a la presión absoluta del fluido.

Elementos electromecánicos

Estos elementos combinan un elemento mecánico con un transductor eléctrico.



Transductor eléctrico de equilibrio de fuerzas, utilizando un detector de inductancia. Obsérvese en el centro de la figura, cómo puede variar el valor inductivo de la bobina, al modificar su posición la barra metálica.

Los transductores eléctricos de equilibrio de fuerzas

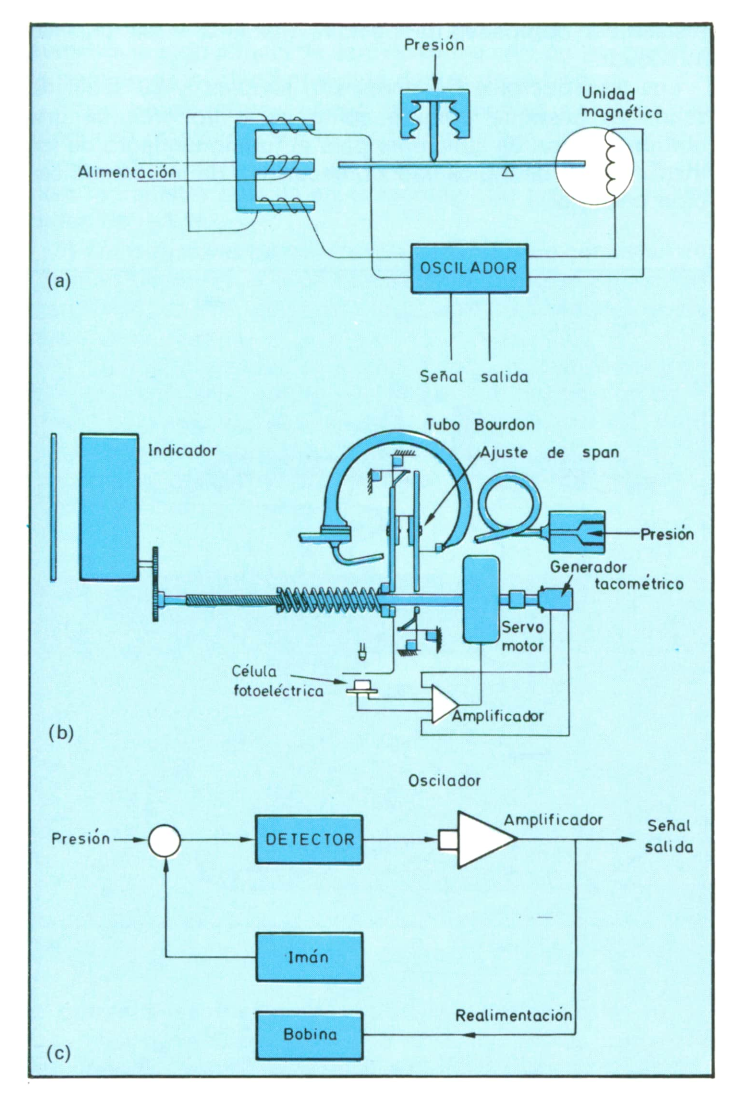
En su forma más sencilla consisten en una barra rígida, apoyada en un punto, sobre la que actúan dos fuerzas en equilibrio.

Una de las fuerzas es la ejercida por el elemento mecánico de medición, mientras que la otra puede ser de tipo magnético.

El desequilibrio entre estas dos fuerzas da lugar a una variación de posición relativa de la barra, excitando un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia, un transformador diferencial o bien un detector fotoeléctrico.

Los transductores resistivos

Están formados por un elemento elástico que varía la



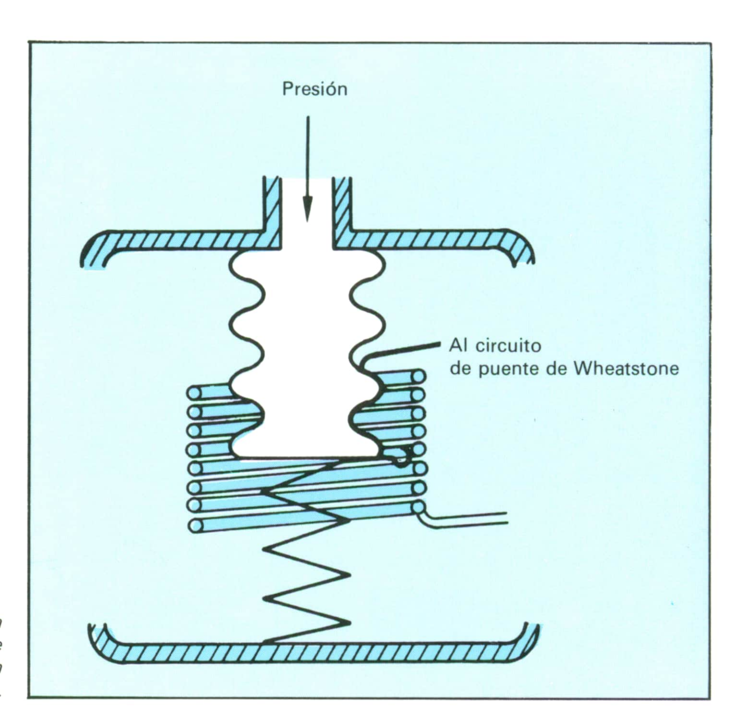
Algunos tipos de transductores eléctricos de equilibrio de fuerzas. a) Transformador diferencial; b) Detector fotoeléctrico de Dresser Industries; c) Diagrama de bloques del anterior.

resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión.

Existen varios tipos de potenciómetros según sea el elemento de resistencia: potenciómetros de grafito, de

resistencia bobinada, de película metálica y de plástico moldeado.

Los transductores resistivos son simples, y su señal de salida es bastante potente como para proporcionar una corriente de salida suficiente para el funcionamiento de los instrumentos de indicación sin necesidad de una amplificación posterior.



Transductor resistivo. La resistencia, forma parte de una de las ramas de un puente de Wheatstone.

Sus principales desventajas son la insensibilidad a pequeños desplazamientos del cursor, su alta sensibilidad a las vibraciones y una pobre estabilidad a través del tiempo.

Los transductores magnéticos de presión

Se clasifican en dos grupos según el principio de funcionamiento.

a) *Transductores de inductancia variable,* en los que el

desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia de ésta de forma casi proporcional a la porción de núcleo contenida dentro de la bobina.

Estos transductores tienen las siguientes ventajas: no producen rozamiento en la medición, tienen una respuesta lineal, son pequeños y de construcción robusta y no precisan ajustes críticos en el montaje. Su precisión es del orden de ± 1 %.

b) Transductores de reluctancia variable, que consisten en un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético.

El circuito magnético se alimenta con una fuerza magnetomotriz constante, con lo cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y, por lo tanto, el flujo magnético. Esta variación del flujo da lugar a una corriente inducida en la bobina proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil.



Medida de ruidos en ambientes industriales mediante un sonómetro. Las variaciones de presión sonora se convierten en variaciones de corriente medibles directamente. (Cortesía: Bruel & Kjaer).

Los transductores de reluctancia variable presentan una alta sensibilidad a las vibraciones, una alta estabilidad en el tiempo y son sensibles a la temperatura. Su precisión es del orden de $\pm 0{,}5\,\%$.



La medición de intensidad luminosa, requiere utilizar transductores adecuados para obtener variaciones de corriente, a partir de la intensidad luminosa recogida.

Los transductores capacitivos

Se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de las placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo se tienen dos condensadores, uno de capacidad fija y el otro de capacidad variable, que pueden compararse con circuitos oscilantes o bien con circuitos de puente de Wheastone alimentados con una corriente alterna. Con ellos se alcanzan precisiones del orden de $\pm 0{,}2$ a $\pm 0{,}5\,\%$.

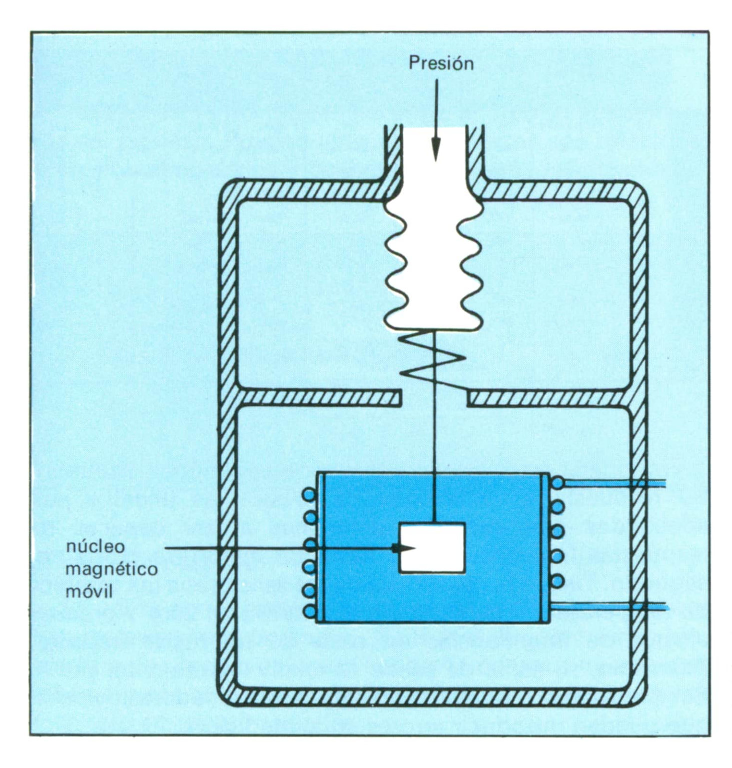
Las galgas extensiométricas

Se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo resistivo se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

Existen dos tipos de galgas: galgas *cementadas*, formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico, y galgas *sin cementar*, en las que los hilos resistivos descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.

En ambos tipos de galgas, la aplicación de la presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado modificando el valor óhmico de la resistencia.

La galga forma parte de un puente de Wheastone que es un sistema muy utilizado para la medida de resistencias.



Transductor de inductancia variable, que convierte las variaciones de presión en variaciones de corriente.

Una variación de la galga extensiométrica la constituyen los transductores de presión de silicio difundido. Consisten en un elemento de silicio situado dentro de una cámara conteniendo silicona, la cual está en contacto con el proceso a través de un diafragma flexible. El sensor está fabricado a partir de un monocristal de silicio, en cuyo seno se difunde boro para formar varios puentes de Wheastone, constituyendo así una galga extensiométrica autocontenida. El espesor del sensor determina el intervalo de medida del instrumento. La precisión que se consigue con este tipo de transductor es del orden de $\pm 0,2\ \%$.

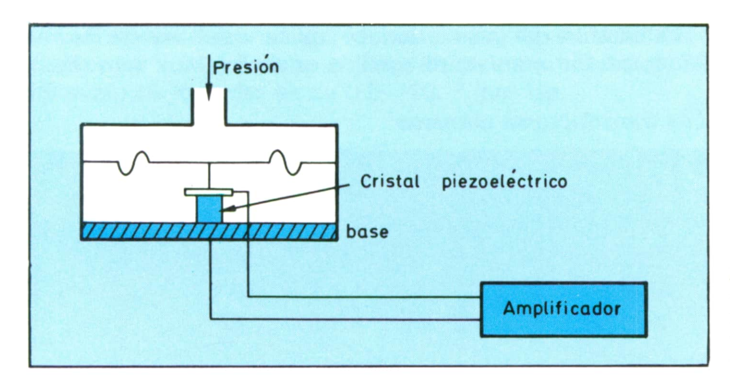
Transductores piezoeléctricos

Aprovechan el efecto piezoeléctrico. Dos elementos muy comunes para la fabricación de este tipo de transductores son el cuarzo y el titanato de bario.

	Margen en kg/cm²	Precisión en % de toda la escala	Estabilidad en el tiempo	Sobrecarga	Temp. máx. de servicio C	Nivel señal salida	Impedancia salida	Error de cero por Influencia temp. ambte.	Resolución	Sensibilidad a vibraciones
Equilibrio de fuerzas	2 – 6000	0,5	Media a Mala	150 %	65	10V	600Ω	0,9 – 2,3 %	Continua	Alta
Resistivos	0 – 0,1 a 0 – 300	1	Mala	150 %	80	Variac. res.	0 – Res. total	0,7 – 3 %	0,25 %	↓
Magnéticos – *Inductancia variable*	↓	0,5	Media	150 %	↓	0 – 5V	2 kΩ	0,9 – 2,3 %	Continua	↓
Magnéticos – *Reluctancia variable*	↓	1	Media	150 %	↓	0 – 5V	2 kΩ	0,6 – 2,4 %	↓	↓
Capacitivos	0,05 – 5 a 0,05 – 600	1	Media a buena	150 %	150	↓	5 kΩ	0,5 – 1,9 %	↓	Media
Galgas extensométricas – *Cementadas*	0 – 0,5 a 0 – 3000	0,5	Mala	↓	120	35 mV	350 Ω	0,5 – 2,4 %	↓	Alta
Galgas extensométricas – *Sin Cementar*	0 – 0,01 a 0 – 600	1	Mala	200 %	↓	↓	350 Ω	↓	↓	↓
Galgas extensométricas – *Silicio difundido*	0 – 2 a 0 – 600	0,3	Muy buena	200 %	107	2 – 10V	600 Ω	0,4 – 1 %	↓	Despreciable
Piezoeléctricos	0,1 – 600	1	Mala	↓	90	600 mV/kg/cm²	1000 MΩ	1 – 4,8 %	1/500	Baja

Clasificación de diversos tipos de transductores electromecánicos.

En general estos transductores son pequeños y robustos. Su respuesta a variaciones de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios de temperatura y de experimentar derivas a cero y precisar ajustes de impedancias en caso de un fuerte impacto. Asimismo, su señal de salida es relativamente débil por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores en la medición.



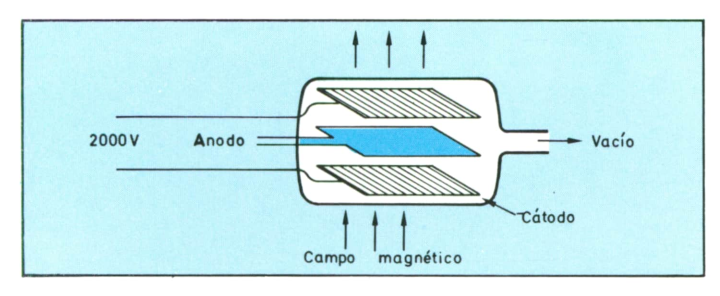
Transductor piezoeléctrico, que aprovecha la deformación de un cristal para obtener variaciones proporcionales de tensión.

Transductores electrónicos de vacío

Los transductores electrónicos de vacío se emplean para la medida de alto vacío por su extraordinaria sensibilidad.

Los transductores mecánicos de fuelle y de diafragma

Trabajan en forma diferencial entre la presión atmosférica y la del proceso. Pueden estar compensados con relación a la presión atmosférica y calibrados en unidades absolutas.



Transductor de cátodo frio, basado en la actuación de las válvulas de vacío.

El medidor McLeod

Se utiliza como aparato de precisión en la calibración de los restantes instrumentos. Se basa en comprimir una muestra de un gran volumen conocido de gas a un volumen más pequeño y a mayor presión mediante una columna de mercurio en un tubo capilar.

La presión del gas se deduce aplicando la ley de Boyle-Mariotte. Su intervalo de medida es de $5-10^{-5}$ mm Hg.

Los transductores térmicos

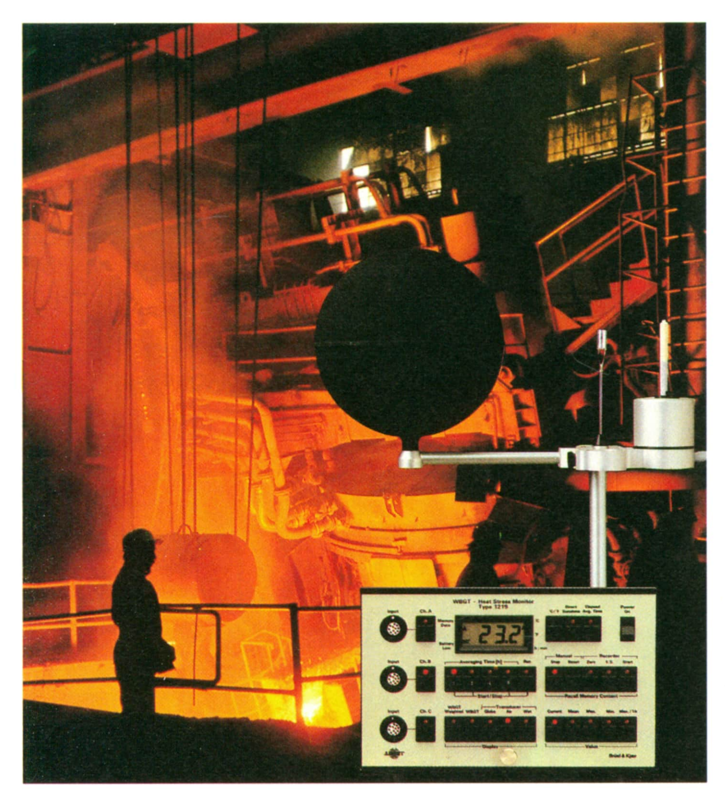
Se basan en el principio de la proporcionalidad entre la energía disipada desde la superficie caliente de un filamento, calentado por una corriente constante, y la presión del gas ambiente cuando el gas está a bajas presiones absolutas.



Báscula de presión que utiliza un transductor extensiométrico para efectuar la lectura precisa de las pesadas. Está basada en un microprocesador, y emplea LEDs como visualizador de las lecturas. (Cortesía: Oerling Ltd.)

El transductor térmico de *termopar* contiene un filamento en *uve* (V) que lleva incorporado un termopar. La f.e.m. del termopar indica la temperatura del filamento y por lo tanto el vacío del ambiente. Para compensar la temperatura ambiente se emplea una segunda unidad contenida dentro de un tubo sellado al vacío. La señal de salida de los dos termopares es proporcional a la presión.

Las principales ventajas de este tipo de transductores residen en su bajo coste, su larga duración y fiabilidad. Su intervalo de medidas es de $0{,}5 - 10^{-3}$ mm Hg.



Monitor de Brüel & Kjaer, para la medida del stres térmico. Este equipo, utiliza varios tipos de transductores en las sondas, para medir temperaturas del material o del aire ambiente, humedad, concentración de gas, etc.

El transductor *Pirani* utiliza un circuito en puente de Wheastone que compara las resistencias de dos filamentos de tungsteno, uno sellado en alto vacío en un tubo y otro en contacto con el gas medido que, por lo tanto, pierde calor por conducción.

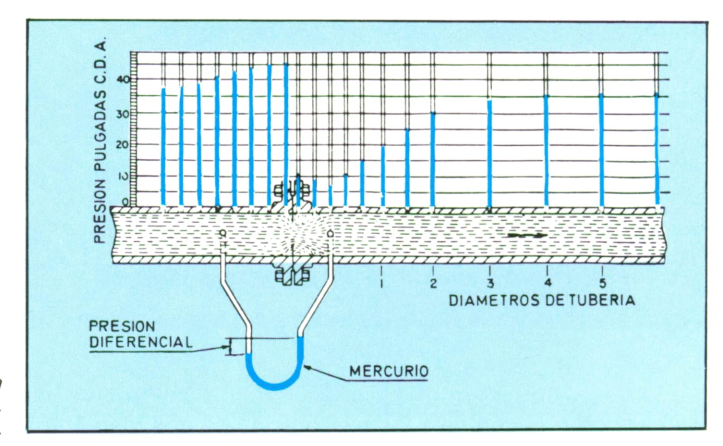
El transductor *bimetálico* utiliza una espiral bimetálica calentada por una fuente de tensión estabilizada. Cualquier cambio en la presión produce una deflexión en la espiral, que a su vez está acoplada a un índice que señala la escala de vacío.

Los transductores de ionización

Se basan en la formación de los iones que se producen en las colisiones que existen entre moléculas y electrones (o bien partículas *alfa* en el tipo de radiación). La velocidad de formación de estos iones, es decir la corriente iónica, varía directamente con la presión.

El transductor de *filamento caliente* consiste en un tubo electrónico con un filamento de tungsteno rodeado por una rejilla en forma de bobina, la cual a su vez está envuelta por otra placa colectora. Los electrones emitidos por el filamento caliente se aceleran hacia la rejilla positiva, pasan a través de la misma y en su camino hacia la placa colectora negativa algunos chocan con moléculas del gas. La corriente positiva formada es función del número de iones y, por tanto, constituye una medida de la presión.

Estos transductores son muy sensibles y capaces de medir vacíos extremadamente altos. Su señal eléctrica de salida es lineal con la presión.



Presión diferencial creada por la placa-orificio. (Cortesía: Honeywell).

El transductor de *cátodo frío* se basa en el principio de la medida de la corriente iónica producida por una descarga de alta tensión. Los electrones desprendidos del cátodo forman un movimiento en espiral al irse moviendo a través de un campo magnético en su camino hacia el ánodo. El movimiento en espiral da lugar a que el camino libre medio entre

electrones sea mayor que la distancia entre electrodos. Por tanto, aumentan las posibilidades de colisión con moléculas del gas presente, lo que da lugar a una mayor corriente iónica y de este modo la descarga catódica se mantiene a una presión más baja, o sea, un vacío más alto.

En el transductor de *radiación* una fuente de radio sellada produce partículas *alfa* que ionizan las moléculas de gas en la cámara de vacío. Los iones resultantes se recogen en un electrodo y generan una corriente que varía directamente con el número de moléculas en la cámara de vacío y que, por lo tanto, es proporcional a la presión total del sistema. Al no incorporar ningún filamento caliente el instrumento puede exponerse sin daño a presión atmosférica, tiene una emisión estable y no es frágil. A muy bajas presiones requiere un preamplificador ya que las corrientes son muy pequeñas.

TRANSDUCTORES DE CAUDAL DE FLUIDOS

Los transductores capaces de medir caudal de fluidos pueden agruparse en dos grandes categorías: los *medidores volumétricos* y los de *caudal-masa.*

Medidores volumétricos

En general se basan en la colocación de una estrangulación en la cañería por donde circula el líquido y en la medición de la presión diferencial existente antes y después de la estrangulación.

Entre otros tenemos: la placa-orificio o *diafragma,* la *tobera,* el *tubo Venturi,* el *tubo Pitot,* el *tubo Annubar,* el *transmisor de fuelle* y *de diafragma.*

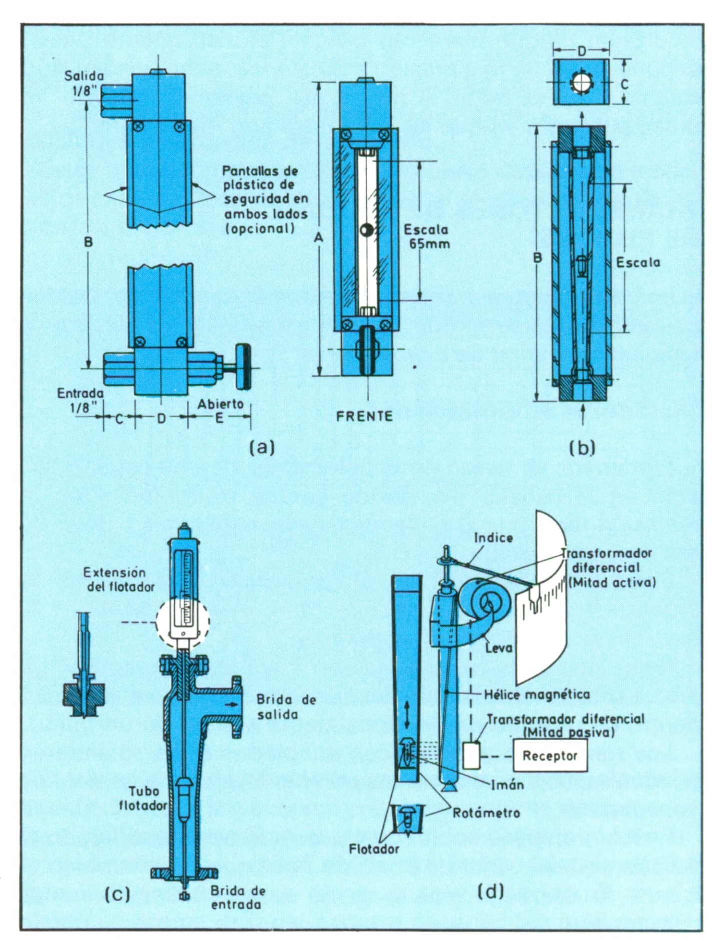
Otros tipos: los *rotámetros* son medidores de caudal de área variable, en los que un flotador cambia su posición dentro de un tubo proporcionalmente al flujo de un fluido.

Los transductores eléctricos acoplados a los rotámetros pueden ser de varios tipos: los *potenciómetros* y el *puente de impedancias.*

En los primeros el cursor del potenciómetro está ligado al flotador, que al variar de posición hace que varie también el cursor. En los segundos se actúa sobre un transformador diferencial.

Los *medidores de turbina* consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad que es proporcional al caudal. Los transductores incorporados suelen serlo bien mediante la variación de la reluctancia de velocidad, al girar las palas del rotor dentro de un campo magnético creado por un imán permanente, o bien incorporando una bobina al rotor, con lo cual el campo magnético giratorio que se origina induce una corriente alterna en una bobina captadora.

Los *transductores ultrasónicos* miden el caudal por



Diferentes tipos de rotámetros;
a) Purga; b) Indicación directa;
c) Armado; d) Transmisor eléctrico.
(Cortesía: Brooks).

diferencia de velocidades del sonido al propagarse éste en el sentido del flujo y en el sentido contrario.

El *medidor de placa* consiste en una placa colocada directamente en el centro de la tubería y sometida al empuje del fluido. La fuerza que se origina sobre la placa es proporcional a la energía cinética del fluido y depende del área anular entre las paredes de la tubería y la placa.

El *medidor magnético de caudal* se basa en la ley de Faraday, que dice que la tensión inducida a través de cualquier fluido conductor, al moverse éste perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor.



Los sistemas de computador para aplicaciones industriales o control de procesos, emplean gran número de transductores, desde el proceso de captación de datos, hasta la representación en pantalla de los resultados.

Los medidores de desplazamiento positivo miden el caudal en volumen contando o integrando volúmenes separados de líquido. Las partes mecánicas del instrumento se mueven aprovechando la energía del fluido y dan lugar a una pérdida de carga.

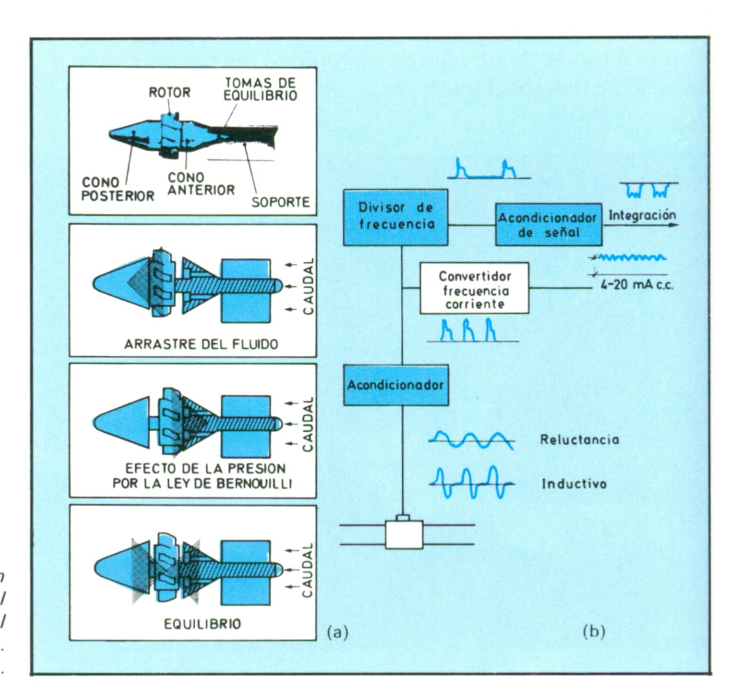
Medidores de caudal-masa

La determinación del caudal-masa puede efectuarse a partir de una medida volumétrica, compensándola para

variaciones de densidad del fluido o bien determinando directamente el caudal aprovechando las características medibles de la masa del fluido.

En el primer caso el caudal-masa puede determinarse de varias formas, según sean las condiciones de servicio y la precisión que se desea en la medida:

1) Registrando la variable o variables y calculando las correcciones.

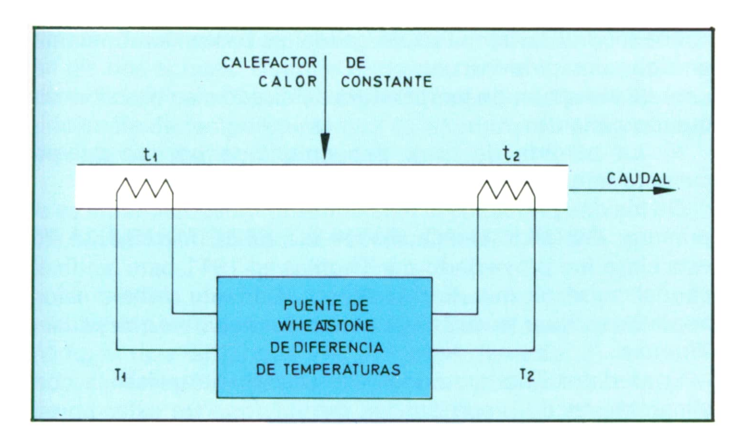


Medidor de turbina, en donde se observa el diagrama de trabajo y el rotor de la turbina. (Cortesía: Brooks).

2) Compensando automáticamente el caudal sólo para la variable que cambia (por ejemplo, la temperatura).

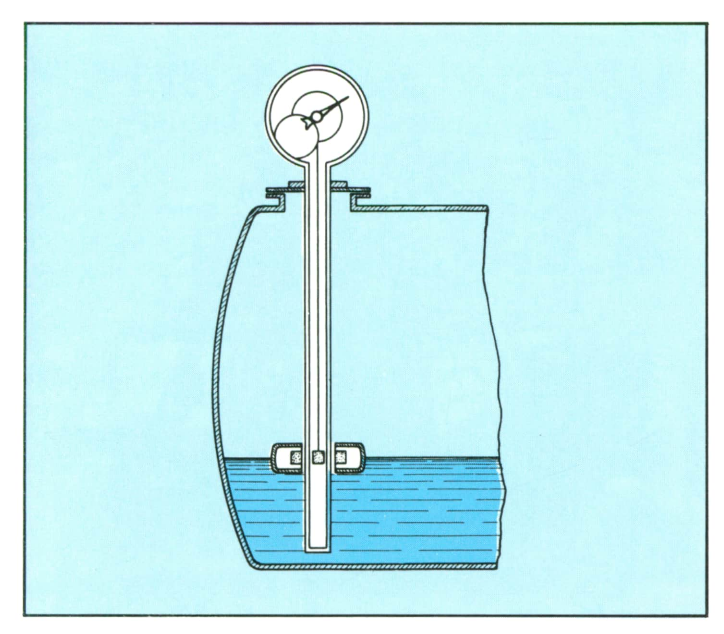
3) Compensando automáticamente el caudal para los cambios en la densidad sólo si se esperan variaciones considerables en todas las condiciones de servicio. En este caso puede trabajarse de dos formas:

a) Midiendo la densidad en condiciones de servicio y compensando así de modo directo y automáticamente el caudal.



Esquema de funcionamiento de un medidor térmico, basado en el puente de Wheatstone, para medir la diferencia de temperatura.

b) Midiendo la densidad en condiciones de referencia en un líquido y a 0º y 1,033 kg/cm en un gas y corrigiéndolo manual o automáticamente para las variaciones de temperatura y presión.



Detector de nivel de flotador magnético. Pequeñas variaciones de nivel, suponen desplazamientos de la bobina, y con ella, de la inducción, traducida en el indicador.

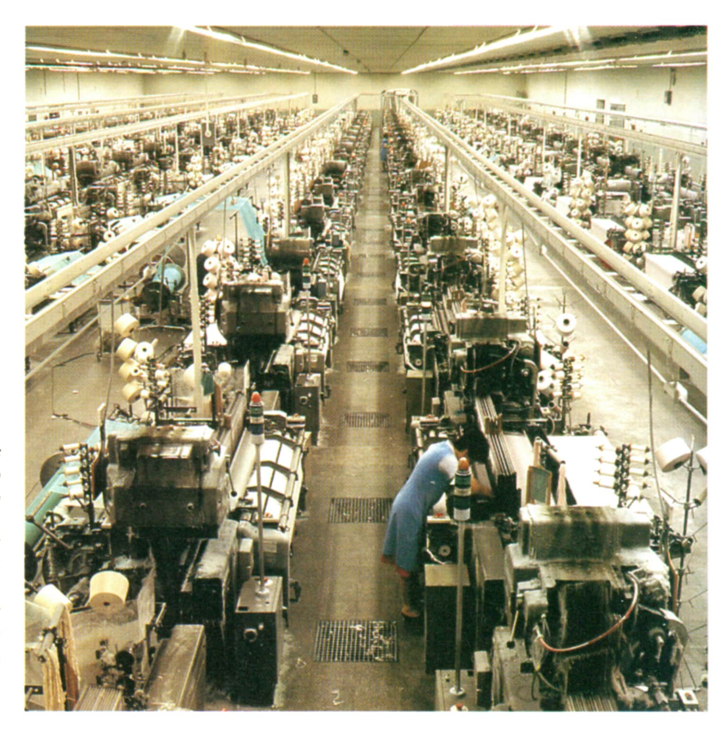
Los medidores térmicos de caudal se basan comúnmente en dos principios físicos:

a) La elevación de temperatura del fluido a su paso por un cuerpo caliente.

b) La pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en el fluido.

De los dos principios el más utilizado industrialmente es el primero, debiendo señalarse que el primer instrumento de esta clase fue proyectado por Thomas en 1911 para medir el caudal-masa de gas de una tobera. Por este motivo estos aparatos reciben también el nombre de *medidores de caudal Thomas.*

El medidor Thomas consta de una fuente eléctrica con alimentación de precisión que proporciona un calor constante al punto medio del tubo por el que circula el caudal. En puntos equidistantes de la fuente de calor se encuentran sondas de resistencias para medir temperaturas.



Fabricación de tejidos mediante un proceso automático, basado en la actuación de transductores, encargados de controlar el inicio y final de cada una de las operaciones, así como las diferentes anomalías que pueden ocurrir durante el proceso de fabricación. (Cortesía: Spin).

Cuando el fluido está en reposo, la temperatura es idéntica en las dos sondas. Cuando el fluido circula, transporta una cantidad de calor hacia la segunda sonda y se presenta una diferencia de temperaturas que va en aumento progresivo a medida que aumenta el caudal.

TRANSDUCTORES DE NIVEL DE LIQUIDOS

La medida de nivel de líquidos en un tanque puede realizarse por varios métodos según sea el material almacenado, el tipo de tanque y la precisión deseada.

Los más importantes son: El *flotador,* el *desplazamiento,* el de *presión diferencial,* el *conductivo,* el *capacitivo,* el *ultrasónico,* el de *radiación.*

Medidor de nivel de flotador magnético

Consiste en un flotador que se desliza a lo largo de un tubo guía colocado verticalmente en el interior del tanque. El flotador contiene un imán y en su movimiento arrastra magnéticamente otro más pequeño situado dentro del tubo guía. Este segundo imán está unido mediante un cable a un índice con una escala, o bien a un transductor eléctrico.

Medidor de nivel de tipo de desplazamiento

Consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión rígidamente unido al tanque. El movimiento del flotador se transmite por una varilla unida al extremo libre del tubo de torsión y situada en su interior, siendo el movimiento angular muy pequeño, del orden de unos 9º.

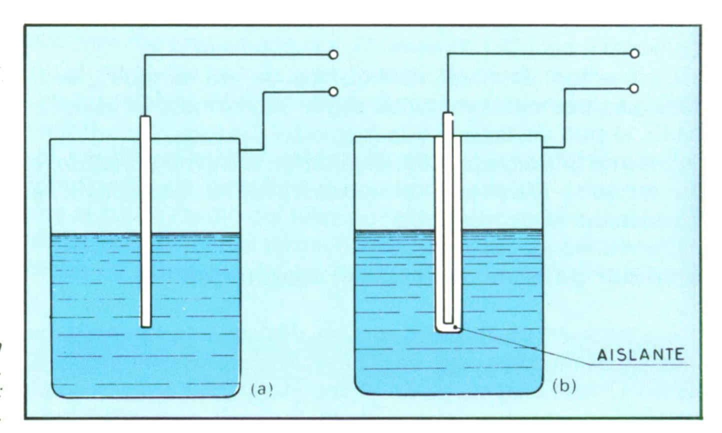
Medidor de presión diferencial

Consiste en un diafragma conectado con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del mismo. En un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico.

El diafragma forma parte de un transmisor eléctrico de presión diferencial.

Medidor de nivel conductivo

Consiste en uno o varios electrodos y un relé electrónico que es excitado cuando el líquido moja dichos electrodos. El líquido debe ser lo suficientemente conductor para excitar el circuito eléctrico.



Medidor de nivel por la técnica de la capacidad. a) Fluido no conductor; b) Fluido conductor.

Medidor de capacidad

Mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende del nivel del líquido.

Para líquidos no conductores la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas situado encima y la de las conexiones superiores.

Para líquidos conductores hay que recubrir el electrodo sumergido con un aislante que, evidentemente, afecta a la capacidad.

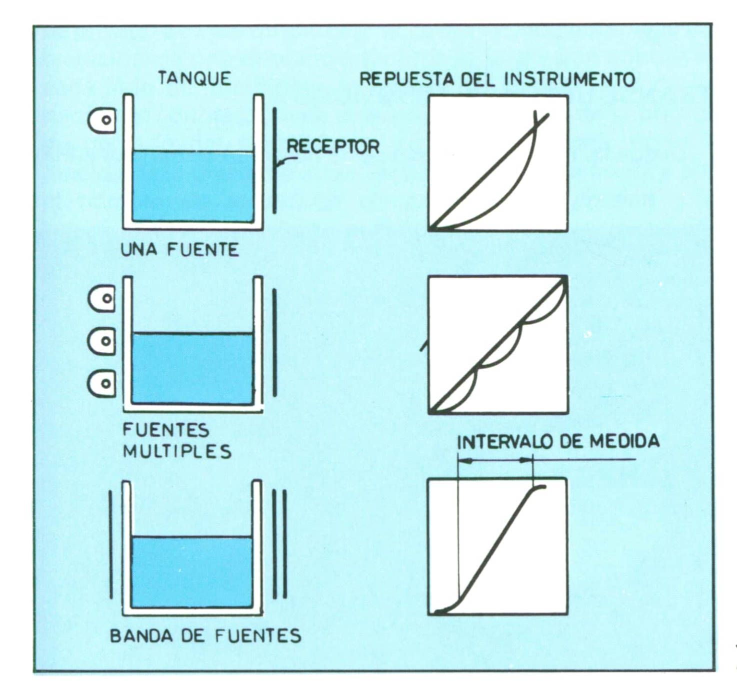
Sistema ultrasónico de medición de nivel

Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 kHz.

Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases y vapores, y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido.

La precisión de estos instrumentos es de ±1 %. Son adecuados para todos los líquidos y todo tipo de tanque. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los fluidos.



Medidor de nivel radiactivo. Se observan tres tipos de medición, según que se empleen una o más fuentes.

Sistema de medición por rayos gamma

Consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del tanque y con un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua. Como la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el tanque, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido, ya que el material absorbe parte de la energía emitida.

El sistema se emplea en casos de medida de nivel de tanques de acceso peligroso o difícil. Es ventajoso cuando existen presiones muy elevadas en el interior del tanque que impiden el empleo de otros sistemas de medición. Hay que señalar que el sistema es caro y que la instalación no debe ofrecer peligro de contaminación radiactiva, siendo necesario señalar debidamente las áreas donde están instalados los instrumentos y realizar inspecciones periódicas de seguridad.

TRANSDUCTORES ACUSTICOS

Desde la invención del *Disco de Rayleigh* se han sucedido



Las cápsulas estereofónicas, son transductores capaces de convertir en variaciones eléctricas, las rugosidades existentes en los surcos de los discos.

los esfuerzos de creación de transductores para la medida del sonido.

El método del Disco de Rayleigh utiliza la visualización de la deflexión de la membrana vibrante sometida a la acción sonora y mide la velocidad de las partículas. A medida que los procesos tecnológicos se desarrollaron se evolucionó hacia la medida de presiones sonoras.

Los micrófonos más modernos responden a las diferencias de presión a través del diafragma, lo cual puede obtenerse por medición de una diferencia de fase de la presión sonora en cada lado del diafragma, midiendo así la velocidad de las partículas sonoras; o bien manteniendo constante la presión de un lado del diafragma y realizando de este modo la medida de la presión sonora. Al primer tipo se le conoce con el nombre de *micrófono de gradiente de presión* y al segundo se le denomina *micrófono sensible a la presión sonora.*

Características de los transductores acústicos

Sensibilidad

Se define como sensibilidad del transductor al valor de la salida eléctrica por unidad de magnitud mecánica de excitación. En general, para un tipo de micrófono dado, la sensibilidad es proporcional a la superficie del diafragma sensor.

Respuesta en frecuencia

La curva de respuesta del elemento nos muestra el comportamiento del transductor para las diferentes frecuencias de utilización.

Directividad

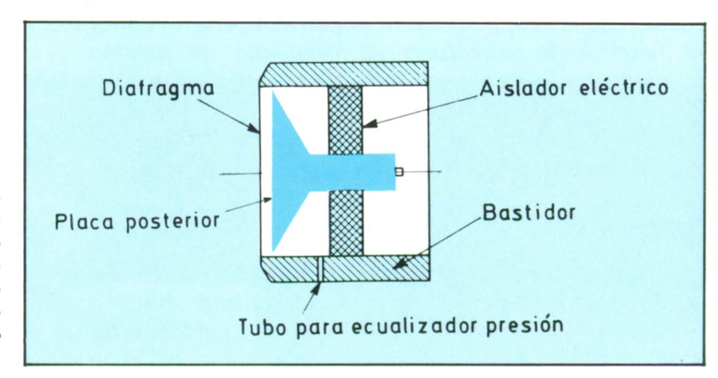
La representación del nivel de percepción de un transductor en función del ángulo de incidencia de la señal sonora para cada frecuencia, proporciona las características de directividad del elemento.

En general los fenómenos de difracción dependen del ángulo de incidencia de la onda sonora, por lo que normalmente no cabe esperar buena respuesta de directividad (omnidireccionalidad) a las frecuencias para las que se

producen estos fenómenos. En baja frecuencia los micrófonos tienden a ser omnidireccionales.

Otros factores físicos

La baja distorsión del captador de señal al que se puede considerar incluido en el preamplificador, así como la elevada relación señal/ruido, la inmunidad del transductor a vibraciones exteriores y la estabilidad de la sensibilidad del transductor a lo largo del tiempo, pese a cambios térmicos y de humedad, son datos muy importantes y determinantes junto a todo lo anterior de la calidad de los micrófonos.



Esquema de funcionamiento de un micrófono de condensador. La variación de la presión sonora en la membrana, se transforma en variaciones de corriente a la salida.

Tipos de micrófonos

El micrófono de condensador

Este micrófono está formado por una placa delgada o membrana llamada diafragma, que es susceptible de moverse por acción de las variaciones de presión sonora, y por otra placa posterior fija y paralela al diafragma. Los movimientos de éste respecto de la placa fija determinan variaciones de la capacidad eléctrica del condensador así formado. Las dos armaduras del condensador están aisladas eléctricamente y el aire confinado entre ellas es el dieléctrico. Este se mantiene a la presión atmosférica mediante un tubo capilar ecualizador de presiones.

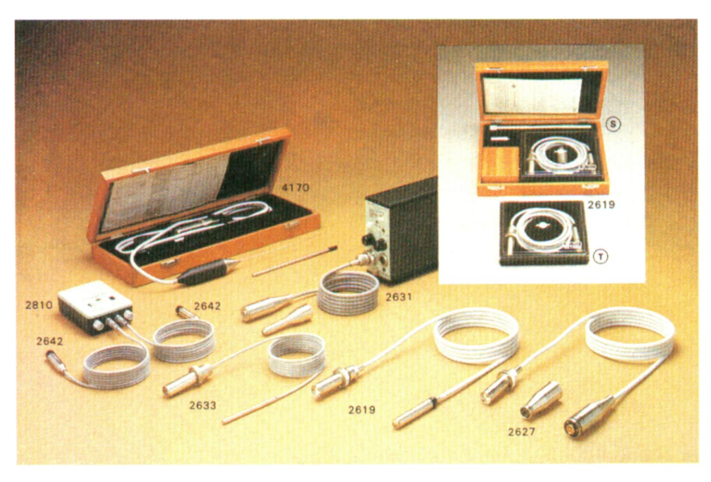
Para disponer de una carga eléctrica en las placas del condensador, se polariza el mismo mediante una fuente de

corriente continua a través de un circuito de constante de tiempo elevada. Al producirse las variaciones de presión se provocan variaciones de capacidad eléctrica y éstas se traducen en variaciones de tensión.

Como ventajas principales de estos micrófonos pueden citarse: respuesta en frecuencia muy uniforme, sensibilidad acústica muy adecuada, bajo nivel de ruido y bajo nivel de sensibilidad frente a vibraciones globales de la cápsula.

El micrófono electret

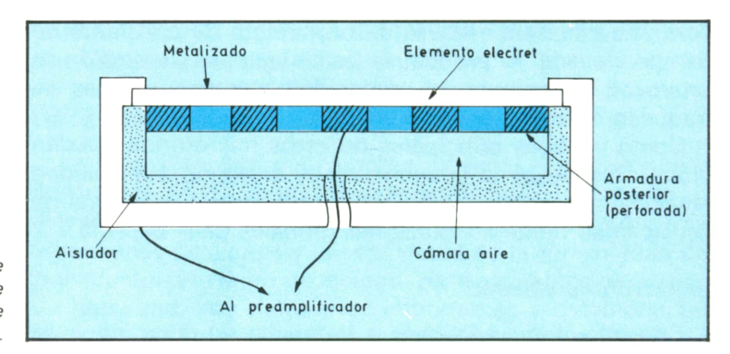
Este micrófono pertenece a la familia de micrófonos de condensador. Su desarrollo es muy reciente, las primeras investigaciones arrancan de 1963 y fueron realizadas por Sessler y West.



Diversas sondas preparadas para micrófonos de condensador, de forma que pueden efectuarse lecturas con instrumentos de B & K, o similares. Los transductores que llevan las sondas, son los elementos esenciales en los sonómetros.

Algunos cuerpos dieléctricos de gran permeabilidad tienen la propiedad de generar un campo eléctrico en su proximidad después de la supresión de un campo exterior, también eléctrico, que actuó como excitador de la propiedad.

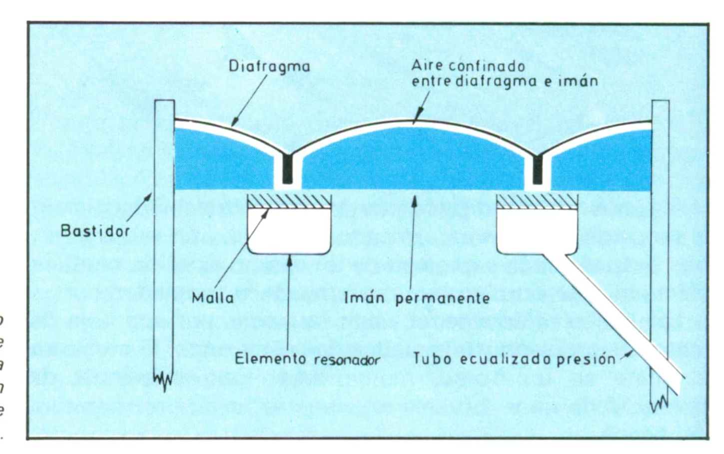
Las películas de electret están formadas por una hoja de material apropiado y a los lados dos electrodos. El conjunto se mete en un horno, manteniendo una diferencia de potencial de unos 4.000 V mientras se baja la temperatura del horno.



Corte de un micrófono de electrect. La lámina de electrect, es propiamente el elemento transductor.

Para formar un micrófono de electret se toma una de estas hojas y se le metaliza una de las caras (la membrana) y el dieléctrico se apoya en el lado no metalizado sobre una placa perforada. La perforación de la placa posterior es la que permite el movimiento del diafragma. El sonido incidente en el micrófono pone en movimiento al diafragma; la variación de la posición de éste respecto de la armadura posterior da lugar a modificaciones de la distribución de cargas en el electret y de este modo se obtiene una tensión de salida.

Una propiedad destacada de este tipo de micrófonos es su baja sensibilidad a las vibraciones globales aplicadas sobre él.



Esquema de un micrófono dinámico. La variación de presión en la lámina vibrante, se traduce en unos valores distintos de corriente.

Micrófono piezoeléctrico

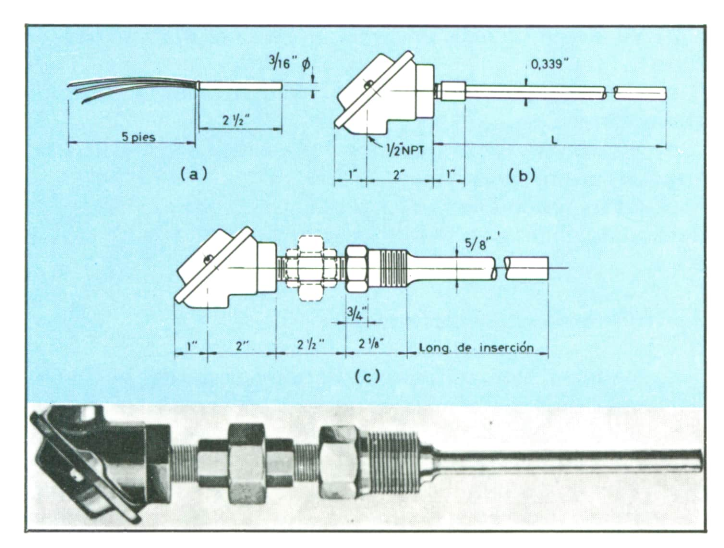
Este tipo de micrófonos utilizan la fuerza producida por la presión del aire para deformar un material piezoeléctrico, que a su vez genera una carga eléctrica.

El diafragma se utiliza como colector de fuerza para aplicarla sobre el cristal. Normalmente, el esfuerzo que se suele aplicar a los cristales que forman parte de un transductor acústico suele ser de flexión.

Sus mayores inconvenientes son la baja sensibilidad acústica y la alta sensibilidad a las vibraciones.

Micrófono dinámico

A esta clase de micrófonos se les denomina también de *bobina móvil*. Utiliza la velocidad comunicada al diafragma



Diferentes tipos de sonda de temperatura, por variación de la resistencia. Cada una de ellas, está preparada para adaptarse a diferentes ubicaciones.

por la presión sonora para inducir una fuerza electromotriz en la bobina móvil que se halla en el interior de un campo magnético. Su construcción es muy parecida a la de un altavoz electrodinámico y sus particularidades, habida cuenta del carácter reversible y de la diferencia de tamaño, son totalmente reversibles.

La baja impedancia de estos micrófonos permite la utilización de cables largos y su ruido interno es muy bajo. Sus principales desventajas son: sensibilidad a los campos magnéticos exteriores, a las vibraciones debido a la masa de la membrana y bobina móvil, y su respuesta en frecuencia no es tan plana como la de otros transductores.

TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

La medida de la temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Los transductores eléctricos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura, entre los que figuran:

a) Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).

b) Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).

c) F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).

d) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

e) Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

Termómetro de resistencia

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento de vidrio o cerámico.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado *coeficiente de temperatura de resistencia* que expresa, a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por grado centígrado que cambia su temperatura.

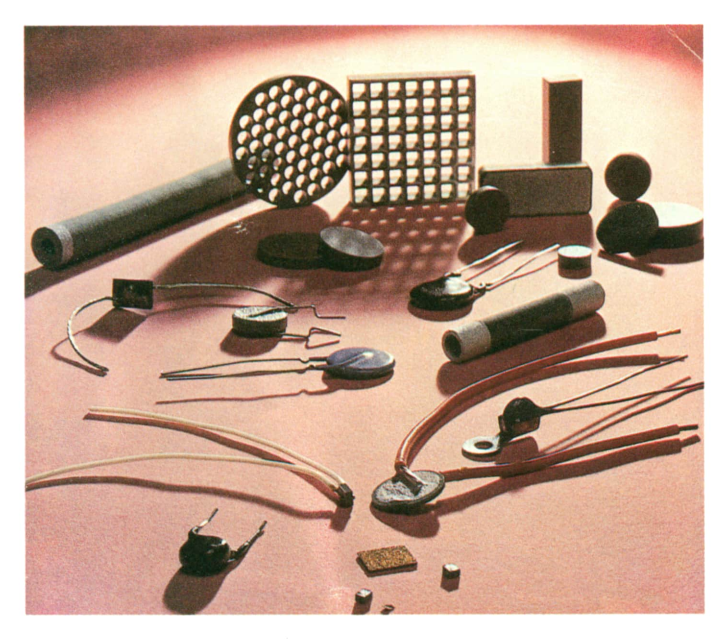
Como siempre, estas sondas forman parte de un puente de Wheastone.

Termistores

Los termistores son semiconductores con un coeficiente de temperatura de resistencia negativa de valor elevado y que presentan una característica lineal tensión-corriente siempre que la temperatura se mantenga constante.

El termopar

Se basa en el efecto, descubierto por Seebeck en el año 1821, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes, cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura.



Diversos tipos de termistores. La forma de los mismos obedece principalmente a su ubicación dentro de las sondas. (Cortesía: Siemens).

Cuando los termopares están situados a una cierta distancia del instrumento de medida, se utilizan para unir termopar e instrumento cables compensados que no son más que cables con propiedades similares a los termopares y permiten mantener las características deseadas.

Pirómetros de radiación total

El pirómetro de radiación total está formado por una lente de *pyrex*, sílice o fluoruro de calcio que concentra la radiación total del objeto caliente sobre una pila térmica o termopila formada por varios termopares.

La f.e.m. que proporciona la termopila depende de la diferencia de temperaturas entre la unión caliente (radiación procedente del objeto enfocado) y la unión fría. Esta última coincide con la de la caja del pirómetro, es decir, con la temperatura ambiente. Posee una baja velocidad de respuesta.

Otros sistemas utilizados en el laboratorio

En los laboratorios donde las condiciones son menos duras y se dispone de aparatos de alimentación adecuados se suelen utilizar instrumentos y técnicas muy elaborados.

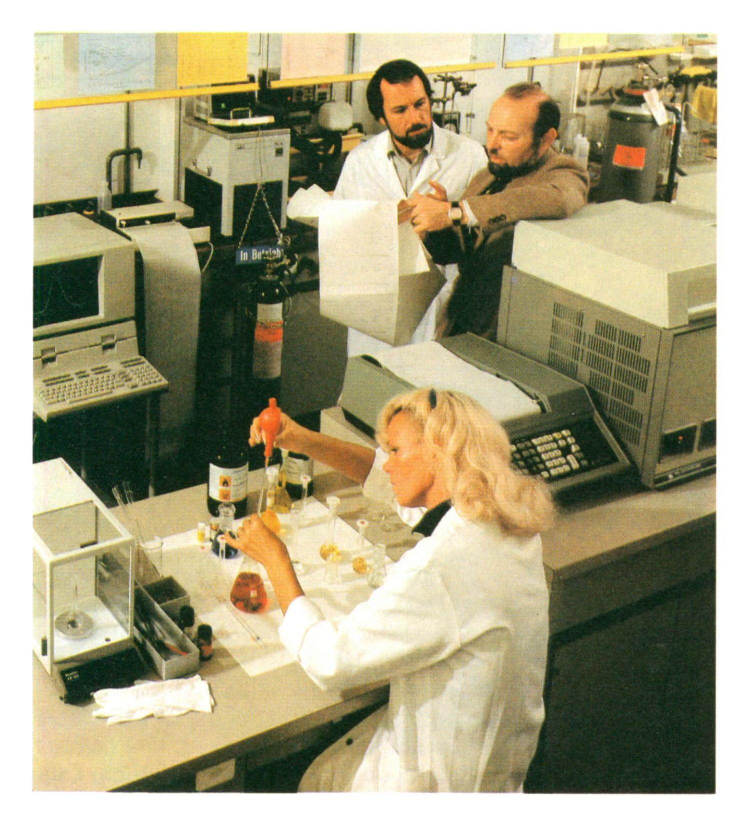
Un termómetro ultrasónico puede medir temperaturas dentro del intervalo de $2-20^{\circ}K$ con una gran precisión. Su



Analizador de vibraciones de Brüel & Kjaer, con indicaciones digitales, pantalla y posibilidad de impresión gráfica de las mediciones efectuadas.

funcionamiento está basado en la determinación de la velocidad del sonido en el gas helio.

El termómetro de cristal de cuarzo convierte directamente la temperatura en frecuencia, en lugar de resistencia o tensión.

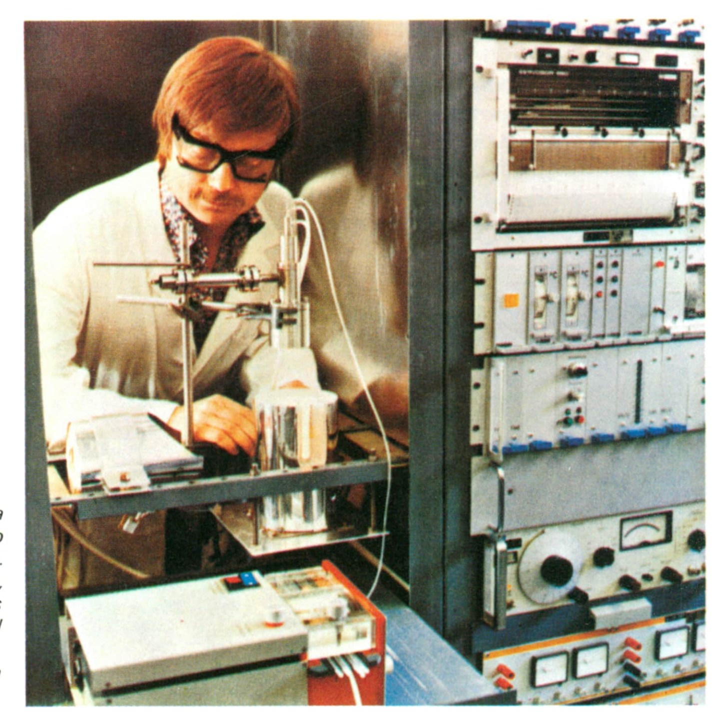


La investigación conjunta entre científicos y técnicos, permite obtener mejores resultados, ya que unos y otros complementan sus esfuerzos para obtener compuestos, nuevos productos, etc. La industria química y farmacéutica, utiliza numerosos transductores en sus diferentes instrumentos de laboratorio, así como en sus procesos de fabricación. (Cortesía: Hewlett Packard).

TRANSDUCTORES PARA PARAMETROS QUIMICOS

Los principios generales en los que se basan los parámetros químicos varían según la aplicación específica.

Una de las tareas que se suele llevar a cabo en los laboratorios químicos es el análisis de mezclas químicas. Esto se lleva a cabo mediante la *cromatografía.* Los



Equipo empleado para medir el contenido orgánico de compuestos. Las labores de análisis, exigen una toma de datos precisa para que el resultado sea fiable. También aquí se utilizan los transductores.

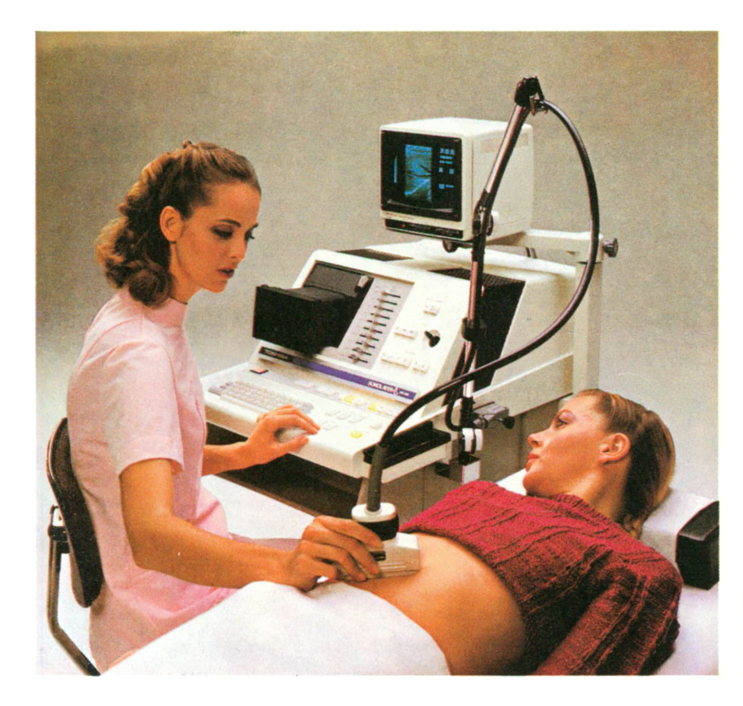
detectores más usados son el *detector de conductividad térmica* (TCD), el *detector de ionización de llama* (FID), y el *detector de captura de electrones* (ECD).

El *electroanálisis* se basa en las leyes fundamentales de la electroquímica. En general la aplicación de una diferencia de potencial entre dos conductores sumergidos en una disolución iónica provoca el paso de una corriente eléctrica. Esta propiedad es aprovechada para la realización de electroanálisis.

Una sustancia es capaz de absorber una radiación y dependiendo de la sustancia en una cantidad determinada. Este es el principio en el que se basa la *espectrofotometría* de absorción. Esta técnica permite análisis cualitativos de sustancias químicas.

La *espectrometría de masas* es una técnica analítica en la que los iones obtenidos de una sustancia química, en general orgánica, son separados según su relación de masa a

carga iónica, dando lugar al llamado espectro de masas característico de la citada sustancia. Con esta técnica se puede obtener abundante información sobre la composición de las mezclas de compuestos orgánicos. El detector más utilizado es el multiplicador de electrones que transforma una corriente de iones en una señal eléctrica manipulable, ya que lo que se hace es ionizar la muestra a controlar.



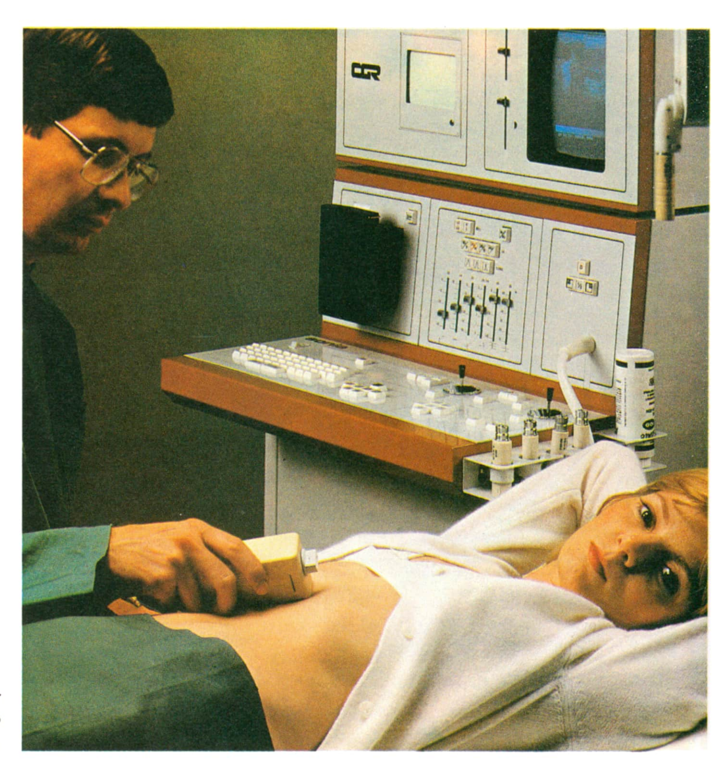
El diagnóstico médico mediante ultrasonidos requiere el empleo de transductores específicos.

TRANSDUCTORES PARA PARAMETROS BIOLOGICOS

Aunque en principio las magnitudes a medir en un ser vivo son análogas a las que se acostumbra en los procesos industriales, las dificultades específicas de este tipo de medidas hace que muchos principios utilizados por la industria sean totalmente inaplicables en este caso.

Uno de los transductores más conocidos es el electrodo.

Este no es más que un elemento metálico que se pone en contacto con la piel o con el medio interno del cuerpo a fin de convertir las corrientes iónicas del organismo en corrientes electrónicas. En este sentido son auténticos transductores ya que cambian un parámetro por otro.



Examen ecográfico, destinado a obtener imágenes del abdomen y de los vasos superficiales.

El micrófono tiene utilidad como transductor de la presión sanguínea por auscultación de una arteria. También se utiliza un sistema hecho a base de un emisor de onda continua, en el margen 2-5 MHz, enfocado a la arteria y por *efecto Doppler* se detecta la velocidad de paso de la sangre.

Al ser un ser vivo una estructura enormemente compleja en la que se producen todo tipo de fenómenos físico-químicos, el número y tipo de variables medibles es prácticamente ilimitado.

